

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**BAKALÁRSKA PRÁCA**

2012

Ľubomír Mravec

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

**Jadrové elektrárne**  
**Nuclear Power Stations**

2012

Lubomír Mravec

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Lubomír Mravec**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika  
Téma: **Jaderné elektrárny**  
**Nuclear Power Stations**

Zásady pro vypracování:

V bakalářské práci zpracujte následující problematiku:

- o Rozdělení jaderných elektráren.
- o Stávající rozšíření v České republice a ve světě.
- o Současná legislativa.
- o Trendy a předpoklady pro rozšíření jaderných elektráren.
- o Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:


- o Kolcun, M. a kol.: Elektrárny, TU Košice, 2006
- o Brauner J., Šindler Z.: Elektrická část elektráren, VŠB Ostrava 1987
- o Dočekal A., Bouček S.: Elektrárny II, ČVUT Praha 1995
- o <http://www.eru.cz/>
- o Další podle pokynů vedoucího práce

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Radomír Goňo, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012

  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry



  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

**Prehlásenie študenta:**

Čestne prehlasujem, že som bakalársku prácu vypracoval sám. Uviedol som všetky literárne  
pramene a publikácie, z ktorých som čerpal.

V Ostrave .....2.5.2012.....

.....Mravec.....

**Pod'akovanie:**

Rád by som vyjadril poďakovanie váženému pánovi konzultantovi doc. Ing. Radomírovi Goňo, Ph.D. za čas, ktorý mi venoval i za trpezlivé usmerňovanie a jeho cenné rady, ktoré výraznou mierou prispeli k skvalitneniu úrovne mojej bakalárskej práce.

**Abstrakt:**

Bakalárska práca sa zaoberá problematikou jadrových elektrární. V prvej časti práce sú uvedené základné informácie o jadrovej fyzike pre lepšie pochopenie procesov, ktoré prebiehajú v jadrových elektrárnach. Rozsiahla kapitola sa venuje rozdeleniu jadrových elektrární a popisu jednotlivých typov základných tepelných schém a reaktorov. V ďalšom priebehu sa rieši aktuálna situácia v Českej republike a vo svete z pohľadu aktuálneho počtu jadrových zdrojov, ale tiež ich možného rozšírenia. Práca sa venuje aj legislatíve súvisiacej s jadrom, ale stručne aj jednotlivým organizáciám angažujúcim sa v danej oblasti. V poslednej časti sú zhrnuté jednotlivé trendy vo vývoji jadrovej energetiky. Tiež sú načrtnuté možné energetické zdroje, hlavne termonukleárna syntéza, ktorá by v budúcnosti reálne mohla zohrávať dôležitú úlohu v zásobovaní ľudstva energiou. V závere sú zhrnuté informácie o potrebe energie a o jadrovej energetike ako celku a jej dôležitosti.

**Klíčové slova:**

jadrová energia, jadrová elektráreň, jadrové reakcie, okruh, reaktor, rozšírenie jadrových elektrární, legislatíva, trendy v jadrovej energetike

**Abstract:**

This bachelor thesis deals with the issue of nuclear power plants. The first part provides basic information about nuclear physics to understand better the processes that take place in nuclear power plants. An extensive chapter is devoted to nuclear power division and description of the basic types of diagrams and thermal reactors. The next course considers the current situation in the Czech Republic and in the world in terms of actual numbers of nuclear sources, but also their possible extension. This paper deals not only with legislation related to the core, but briefly also the various organizations engaged in the given area. The last section summarizes the different trends in nuclear energy. It also outlines possible energy sources, especially thermonuclear fusion, which would in future be able to actually play an important role in energy supply of mankind. The conclusion summarizes information about the need for energy and about nuclear energy as a whole and its importance.

**Keywords:**

nuclear energy, nuclear power plant, nuclear reactions, circle, reactor, expansion of nuclear power plants, legislation, trends in nuclear power

## **Zoznam použitých symbolov a skratiek**

a.j.h.	Atómová jednotka hmotnosti $m_u$ .
Bi	Bismut.
EK	Európska komisia.
EÚ	Európska únia.
ERÚ	Energetický regulačný úrad.
G	Alternátor.
HCC	Hlavné cirkulačné čerpadlo.
He	Hélium
IAEA	Mezinárodná agentúra pre atómovú energiu.
IEA	Medzinárodná energetická agentúra.
J	Joule.
JE	Jadrové elektrárne.
K	Kondenzátor.
K	Kelvin.
KO	Kompenzátor objemu.
Li	Lithium.
MOX	Nový typ paliva vznikajúci prepracovaním už použitého paliva.
MW	Megawatt.
NČ	Napájacie čerpadlo.
Np	Neptunium.
OČ	Obehové čerpadlo.
OECD	Organizácia pre hospodársku spoluprácu a rozvoj.
Pb	Olovo.
PE	Parné elektrárne.
PG	Parný generátor.
PPE	Paroplynové elektrárne.
PSE	Plynové/spaľovacie elektrárne.
Pu	Plutonium.

R	Reaktor.
S	Separátor.
Sb.	Zbierka zákonov.
SLE	Solárne elektrárne.
ŠÚJB	Štátny úrad pre jadrovú bezpečnosť.
T	Turbína.
TWh	Terawatthodín.
U	Urán.
UO <sub>2</sub>	Kysličník uraničitý.
V	Výmenník tepla.
VE	Vodné elektrárne.
VTE	Veterné elektrárne.
VVER	Vodo - vodný energetický reaktor.
WNA	Svetová jadrová asociácia.
ZSSR	Zväz sovietskych socialistických republík.



## Obsah

<b>1. Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Jadrová fyzika .....</b>	<b>2</b>
2.1.    Základy jadrovej fyziky a stručný pohľad do histórie.....	2
2.2.    Väzbová energia.....	3
2.3.    Jadrové reakcie.....	4
<b>3. Jadrové elektrárne .....</b>	<b>8</b>
3.1.    Popis jadrovej elektrárne.....	8
3.2.    Rozdelenie jadrových elektrární na základe počtu okruhov teplonosného média .....	8
3.3.    Jadrový reaktor.....	10
3.3.1.    Ľahkou vodou moderované a chladené reaktory na obohatený urán (LWR).....	13
3.3.2.    Plynom chladené grafitové reaktory (GCR, AGR, HTGR) .....	15
3.3.3.    Ľahkou vodou chladené grafitové reaktory na obohatený urán (LWGR, RBMK) ..	16
3.3.4.    Reaktory moderované ťažkou vodou (HWR) .....	16
3.3.5.    Rýchle množivé reaktory chladené tekutými kovmi (FBR).....	17
<b>4. Aktuálny stav a prípadné rozšírenie jadrových elektrární v ČR a vo svete .....</b>	<b>18</b>
4.1.    Všeobecný prehľad o aktuálnych údajoch .....	18
4.2.    Jadrová energetika v Českej republike.....	21
4.2.1.    Jadrová elektráreň Temelín – aktuálna situácia .....	22
4.2.2.    Jadrová elektráreň Dukovany – aktuálna situácia .....	23
<b>5. Súčasná legislatíva.....</b>	<b>24</b>
5.1.    Legislatíva v ČR.....	24
5.1.1.    Energetický zákon.....	24
5.1.2.    Štátny úrad pre jadrovú bezpečnosť a atómový zákon.....	24
5.1.3.    Právny rámec výstavby jadrových elektrární.....	25
5.2.    Legislatíva EÚ.....	26
5.2.1.    Spolupráca v oblasti energetiky a energetická politika EÚ.....	26
5.2.2.    Problematika jadrových odpadov v EÚ .....	27
5.2.3.    Euratom .....	28

<b>6. Trendy a predpoklady pre rozšírenie jadrových elektrární .....</b>	<b>29</b>
6.1. Perspektívy rozvoja jadrových elektrární.....	29
6.2. Ekologický predpoklad pre rozšírenie jadrovej energetiky.....	29
6.3. Ekonomický aspekt rozvoja výroby z jadra .....	30
6.4. Trend v jadrovej energetike .....	30
6.5. Generácie jadrových reaktorov a najperspektívnejšie typy reaktorov .....	30
6.5.1. Reaktory III. a III+. generácie.....	32
6.5.2. General IV International Forum (GIF).....	32
6.5.3. Reaktory IV. generácie.....	33
<b>7. Energetické zdroje budúcnosti.....</b>	<b>34</b>
7.1. Termonukleárne reaktory .....	34
7.2. Hybridné reaktory .....	37
7.3. Podkritické reaktory .....	37
<b>8. Záver .....</b>	<b>39</b>
<b>Literatúra.....</b>	<b>41</b>
<b>Zoznam príloh .....</b>	<b>45</b>

## 1. Úvod

Medzi najvýznamnejšie zdroje energie patria: uhlie, ropa, zemný plyn, slnečná energia, vietor, voda a najmladší, avšak rýchlo sa vyvíjajúci zdroj, do ktorého sú vkladané veľké nádeje - jadrová energia. Jadrová energetika má v súčasnosti aj napriek mnohým odporcom medzi jednotlivými typmi elektrární výsadné postavenie. Určité percento obyvateľstva stále protestuje proti jadrovým elektrárnam, hlavne z obavy novej havárie ako sa stalo napríklad v Černobyle a nedávno v japonskej Fukušime.

V jadrových elektrárnach vzniká teplo pri riadenej nukleárnej reakcii. Doposiaľ sa využíva iba riadená štípná reakcia, termojadrovú syntézu sa stále nepodarilo ovládnuť a zvládnuť jej riadenie. Z dôvodu práve výnimočného spôsobu získavania tepla a unikátnych vlastností paliva sa elektrárne člení na okruhy. Jadrová elektrárňa má aj ďalšie svoje špecifiká, existuje však veľa dôvodov, prečo je výhodné stavať jadrové elektrárne. Medzi tieto dôvody patrí určite zníženie emisií oxidu uhličitého, zníženie závislosti na dovoze energie z iných krajín, tiež šetrenie fosílného paliva a mnohé ďalšie. V neposlednom rade v dnešných ťažkých časoch ekonomickej krízy prevádzka jadrového bloku dokáže zamestnať stovky odborníkov. Už malé množstvo uránu je zdrojom obrovskej energie, a preto jadrové elektrárne spotrebujú ročne malé množstvo paliva v porovnaní s parnými kondenzačnými elektrárnami na tuhé palivo (z 1 kg jadrového paliva sa vyrobí asi  $10^6$  krát viac energie ako z rovnakého množstva hnedého uhlia). [14] Preto sa môžu stavať priamo tam, kde je najväčšia spotreba elektrickej energie a nemusia byť v blízkosti miest ťažby. Odpadá taktiež problém elektrického prenosu. Je spravodlivé hovoriť aj o negatívach jadrovej energetiky. Za najväčšie sa považuje problém uloženia vyhoreného jadrového paliva a následnej dlhodobej starostlivosti o tieto rádioaktívne odpady. V moderných reaktoroch štvrtej generácie by mal byť však tento problém odstránený uzavretím palivového cyklu. Ďalšou nevýhodou jadrových elektrární sú veľké škody pri už spomenutej prípadnej havárii. K takejto situácii by však nemalo dôjsť v tom prípade, že sa budú dôsledne dodržiavať zásady jadrovej bezpečnosti a normy týkajúce sa prevádzky jadrových zariadení. Prírodné katastrofy (Fukušima) alebo zlyhanie ľudského faktora sa však nedá ovplyvniť. Jadrovú energetiku znevýhodňujú aj dlhé obdobia sprevádzajúce návrh, konštrukciu a výstavbu jadrových elektrární. Tento zdĺhavý proces, ktorý sprevádza výstavbu, som popísal taktiež v mojej práci. A argumentom proti je určite aj možnosť zneužitia jadrovej energetiky k výrobe zbraní hromadného ničenia.

V tejto bakalárskej práci sú zhrnuté poznatky o jadrových elektrárnach a ich rozdelenie podľa najdôležitejších charakteristík. Tiež charakterizuje postavenie jadrových elektrární v Českej republike z hľadiska výroby elektrickej energie. Analyzuje súčasný stav využitia jadrovej energie, charakterizuje ich možný potenciál v Českej republike a vo svete. V jednej časti je rozobratá energetická legislatíva Českej republiky so zameraním na jadrovú energiu. Približuje tiež nové technológie v oblasti jadrových elektrární a jadrovej syntézy. [1], [2], [3]

## 2. Jadrová fyzika

### 2.1. Základy jadrovej fyziky a stručný pohľad do histórie

Základné pojmy z tejto oblasti sú spracované v prílohe č. 1. z dôvodu obmedzeného rozsahu bakalárskej práce.

Jadrovú fyziku ako vedu o stavbe, vlastnostiach a premenách atómových jadier môžeme považovať za jednu z najmladších vedných disciplín. Ešte v 19. storočí sa o atómovom jadre nevedelo nič. Atóm sa pokladal za najmenšiu časticu látky (Daltonova atómová hypotéza), ktorá sa nedá ďalej deliť. Zmenu názorov na zloženie atómu priniesli až významné objavy fyzikálneho výskumu na prelome 19. a 20. storočia. Za dôležité medzníky považujeme Rutherfordovo objavenie atómového jadra v roku 1912 a následne tiež určil náboj jadra v roku 1913. V roku 1919 uskutočnil aj premenu stabilných jadier pomocou alfa žiarenia. Medzičasom bolo objavených okolo 30 rádioaktívnych izotopov. V rokoch 1925 až 1929 prebiehal rozvoj zariadení pre uskutočňovanie experimentov a aj rozvoj teoretických znalostí v oblasti kvantovej mechaniky. Veľmi dôležitým bolo v roku 1932 objavenie neutrónu. Tento objav pána Chadwicka sa stal rozhodujúcim pre zostrojenie budúcich jadrových reaktorov, viedol k prechodu od elektrón - protónového modelu k protón - neutrónovému modelu jadra. Do roku 1934 bolo objavených už okolo 600 rádioaktívnych premien a v tom istom roku Enrico Fermi predložil teóriu beta premeny. V rokoch 1931 až 1939 sa rozvíjali urýchľovače a objavili sa nové elementárne častice. V roku 1939 nastal ďalší významný medzník, ktorý sa stal neskôr rozhodujúcim pri procesoch uvoľňovania energie (reťazovej reakcii) v reaktoroch. Bolo to objavenie delenia ťažkých jadier (Hahn, Strassman a Meitnerová). V roku 1943 prebehla prvá riadená reťazová reakcia v Chicagu. Výstavbu uránovo - grafitového reaktoru viedol taliansky fyzik Fermi, ktorý dokonca svojou rukou naštartoval reťazovú reakciu. Pri spustení stáli na reaktore dookola muži s pripravenými vedrami s roztokom kadmiových solí v prípade vymknutia sa reakcie spod kontroly. Reaktor vtedy bežal po dobu dvadsiatich minút. V roku 1946 bol postavený prvý uránovo - grafitový reaktor v ZSSR. Následne 25. júna 1954 bola uvedená do prevádzky prvá jadrová elektráreň v Obninsku v ZSSR s výkonom 5 MW. Táto elektráreň dokázala zásobiť elektrinou 2000 domácností. Pre porovnanie dnes typický jadrový zdroj vyrába energiu asi pre 400 tisíc domácností. USA nechcelo zaostávať a v roku 1957 aj tam spustili jadrovú elektráreň. Od roku 1967 až dodnes sa neustále vedci snažia odstrániť problémy a zvládnuť kontrolovateľnú jadrovú syntézu. Sedemdesiate roky sa vyznačujú rýchlym rastom jadrovej energetiky, ročne v priemere o 30 %. V roku 1987 dosiahla jadrová energetika 16 % podiel na výrobe elektriny vo svete. Potom od roku 1987 do 1990 nastal útlm a spomalenie rozvoja. A v roku 2008 bol podiel jadra na celosvetovej výrobe elektriny stále 16 %. Ako sa vývoj a čísla späť s jadrovou energetikou budú ďalej uberať v budúcnosti ukáže až čas. [2], [5], [37]

## 2.2. Vázbová energia

Merania ukázali, že hmotnosť atómových jadier sa nerovná súčtu hmotností všetkých protónov a neutrónov, ale je vždy menšia o hmotnostný defekt - schodok. Keď vznikajú jadrá z voľných nukleónov pôsobia medzi nimi príťažlivé jadrové sily a pri ich približovaní musia konať prácu, čo sa prejaví na úbytku celkovej energie sústavy nukleónov. Pri rozdelení jadra musíme rovnakú energiu dodať. Táto energia je ekvivalentná energii, ktorá sa uvoľnila pri vzniku jadra z nukleónov a nazývame ju väzbovou energiou jadra  $E_v$ . Vázbová energia je energia potrebná k rozdeleniu nukleónov a je úmerná hmotnostnému defektu  $\Delta m$  podľa Einsteinovho vzorca:

$$E = \Delta m \cdot c^2 \quad (1)$$

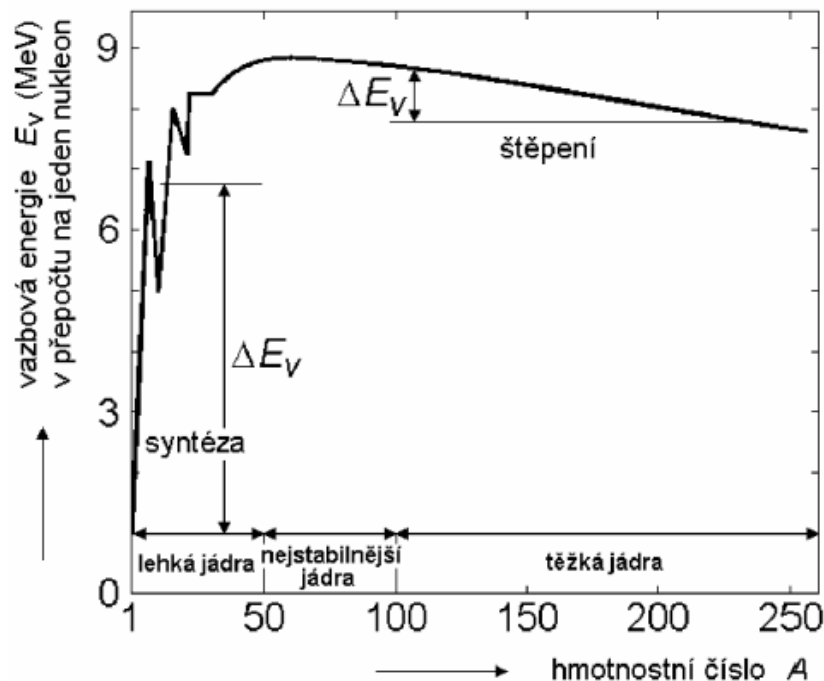
Kde dosadíme za  $c$  rýchlosť svetla a za  $\Delta m$  atómovú jednotku hmotnosti, dostaneme potom energiu odpovedajúcu hmotnostnému defektu 1  $m_u$ :

$$E = 1,66044 \cdot 10^{-27} \cdot (2,99792456 \cdot 10^8)^2 = 1,492329 \cdot 10^{-10} J \quad (2)$$

1 eV =  $1,602 \cdot 10^{-19}$  J (energia, ktorú získal elektrón, ak prejde medzi dvoma miestami elektrického poľa s napätím 1 V)

$$E = 931,48 \cdot 10^6 eV = 931 MeV \quad (3)$$

Pri hmotnostnom schodku, ktorý sa rovná 1 a.j.h. sa uvoľnila energia 931 MeV.



Obr. 1: Závislosť väzbovej energie na 1 nukleón na hmotnostnom čísle [35]

Väzbová energia je mierou stability atómového jadra. Pri porovnávaní stability jednotlivých jadier neberieme do úvahy celkovú väzbovú energiu, ale rozhodujúca je väzbová energia, ktorá pripadá na 1 nukleón, t. j. podiel  $e_j = E_V / A$ . Pri uvoľňovaní energie jadrovou syntézou sa zlučujú jadrá s malou hodnotou  $e_j$ , naopak štiepenie sa uskutočňuje pri jadrách s veľkou energiou  $e_j$ .

Z obr. 1. vyplýva, že pomerne stabilné sú prvky s nukleónovými číslami 50 až 100, pri ktorých hodnota výrazu  $E_V / A$  dosahuje maximum (vyše 8,4 MeV). Ľahké a ťažšie jadrá sú menej stabilné. [3], [5]

### 2.3. Jadrové reakcie

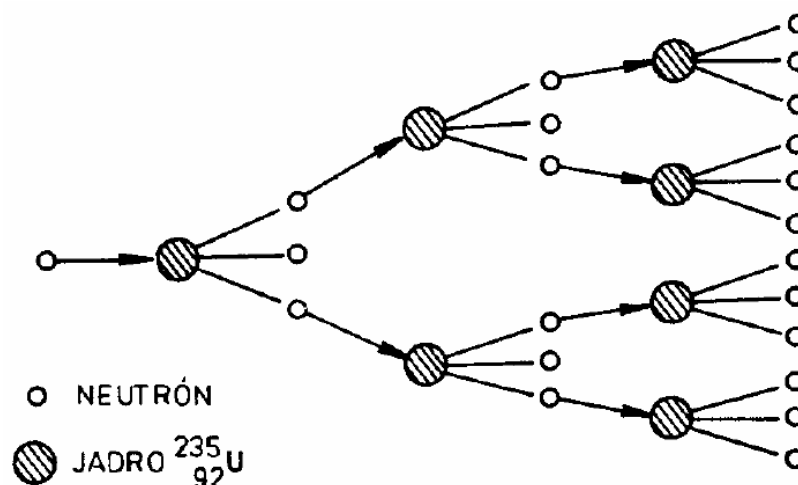
„Priebeh jadrových reakcií vyjadrujeme jadrovými rovnicami, v ktorých pomocou indexov označujeme počet protónov a nukleónov. Súčet horných a dolných indexov na obidvoch stranách rovnice sa musí zhodovať.

Pri jadrových reakciách sa spravidla uvoľňuje energia a niektoré z nich sa využívajú na získanie energie v technickom rozsahu. Jadrové reakcie rozdeľujeme na rádioaktivitu (prirodzenú a umelú), transmutácie, štiepne reakcie a syntetické reakcie (termonukleárne).“ [3] Novšia termonukleárna syntéza je popísaná až v ďalších kapitolách, kde sa rozoberajú nové trendy.

#### Štiepna reakcia

Pri štiepnej reakcii jadra atómu sa uvoľní v priemere dva až tri neutróny, ktoré môžu vyvolať ďalšie rozštiepenie jadra a tak vzniká štiepna reťazová reakcia. K vyvolaniu reakcie jadier s ostatnými jadrami alebo časticami musia byť splnené podmienky, aby energia častíc dopadajúcich na jadro terčovej látky bola dostatočne veľká k prekonaniu Coulombových síl medzi časticami a nukleónmi vnútri jadra. Je to možné dosiahnuť v podstate dvomi spôsobmi:

- prvá je reakcia termonukleárna - zvýšením teploty na niekoľko miliónov stupňov Celsia, pretože pri tejto teplote častice majú dostatočnú energiu k prekonaniu vzájomného elektrostatického odpudzovania,
- bombardovaním rôznych látok ľahkými jadrami, teda protónmi, neutrónmi a časticami  $\alpha$  urýchlenými v cyklotrónoch. Dosiahnuté boli tiež jadrové reakcie s urýchlenými neutrónmi, lúčami  $\gamma$ , a röntgenovými lúčami.

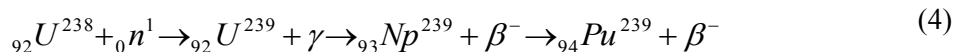


Obr. 2: Schéma reťazovej reakcie [3]

Uvedené spôsoby jadrových reakcií sú doposiaľ neekonomické a konajú sa len v laboratórnych podmienkach pokusne. V praxi sa v jadrových reaktoroch používa iba interakcia neutrónov s atómovými jadrami. Pretože neutrón nemá elektrický náboj, nemusí prekonávať odpudivé elektrostatické sily pri približovaní sa k atómovému jadru terčovej látky a tak sa môžu použiť aj neutróny s malou kinetickou energiou. V jadrovom reaktore nastávajú tieto najdôležitejšie prípady vzájomného pôsobenia (interakcie) medzi jadrom atómu a neutrónom:

**Rozptyl** neutrónu môže byť pružný a nepružný. Nastáva v dôsledku zrážok neutrónov s jadrami atómov. Výsledkom tejto reakcie je prenos energie medzi časticami. Pri pružnom rozptyle zostáva celková kinetická energia obidvoch častíc rovnaká, nemení sa. Tento druh rozptylu sa vyskytuje v jadrovom reaktore oveľa viac ako nepružný. Ak však jadro pohltí neutrón a vzápätí ho emituje s menšou kinetickou energiou, hovoríme o nepružnom rozptyle. V tomto prípade sa zmení časť energie v excitačnej energii jadra. Jadro ostane v excitovanom stave, z ktorého prejde do pôvodného stavu vyžiarovaním gama kvánt. Pružný rozptyl spôsobuje spomaľovanie neutrónov, čo je veľmi dôležitým procesom pre jadrové reaktory. Moderátorom nazývame látku, s jadrami ktorej sa zrážajú neutróny. Týmto pružnými zrážkami sa zníži kinetická energia neutrónov na hodnotu potrebnú pre štiepenie jadier paliva - uránu. Takéto spomaľené neutróny, tzv. tepelné (pomalé) neutróny, majú pri teplote 20 °C energiu 0,025 eV. Ich energia je daná teplotou látky, v ktorej sa spomaľovali (teplotou moderátora). Energia rýchlych neutrónov je väčšia ako 1 MeV. Nadtepelné alebo epitermálne neutróny sú také, ktorých energie sú medzi hodnotami rýchlych a pomalých.

**Zachytenie** neutrónu. Terčové jadro pohltí neutrón, excituje sa a vyžiari prebytočnú energiu vo forme gama kvánt. Tieto reakcie sú bežné. Výsledný atóm sa stáva izotopom terčového jadra. Napr. pôsobenie neutrónov na jadro U v palive:



**Štiepenie jadier** je najvýznamnejšou kľúčovou reakciou, lebo sa pri nej uvoľňuje obrovské množstvo energie. Práve jadrové reaktory pracujú na základe tejto reakcie. V reaktore prebieha veľa iných reakcií, ale energeticky vieme využiť iba spoľahlivo ovládané a riadené štiepenie (pri jednom štiepení  $^{235}\text{U}$  sa uvoľní asi 200 MeV). Pri tomto procese sa tepelná energia reakcie odovzdá výmenníku. Neutrón je pohltý jadrom a to sa rozštiepi na dve časti - odštiepky a ďalej sa uvoľnia neutróny. Tento pochod sprevádzajú emisie fotónov a častíc  $\beta$ . Jadrá sa dajú štiepiť iba neutrónmi s určitými energiami - účinný prierez. Pod pojmom účinný prierez rozumieme vlastne účinnú plochu jadra pre príslušnú reakciu. Pravdepodobnosť reakcie neutrónu s jadrom závisí na ploche atómu, počtu a druhu terčových jadier a tiež na rýchlosti neutrónov. Zväčšením účinného prierezu klesá množstvo materiálu, ktoré je potrebné k štiepeniu.

### Rádioaktivita

Rádioaktivita je jav, pri ktorom vysielajú jadrá niektorých prvkov samovoľné žiarenie a zároveň sa zmenia na jadrá iných prvkov. Tento jav ako prvý spozoroval na uráne A. J. Becquerel v roku 1896 a ďalšie rádioaktívne prvky - polónium a rádium objavili M. Curie-Sklodowska a P. Curie o dva roky neskôr. Ich objav sa stal podnetom na ďalšie vedecké skúmanie tohto procesu. Rádioaktívne žiarenie pôsobí na okolie. Zapríčiňuje ionizáciu plynov a luminiscenciu (svetielkovanie) niektorých látok. Má podobné chemické účinky ako svetlo (pôsobí na fotografickú emulziu, má bieliace účinky, rozkladá peroxid vodíka a pod.). Takisto má významné fyziologické účinky. V nízkych dávkach spôsobuje rozklad rakovinových buniek, vo vyšších dávkach vyvoláva zmeny v zdravých bunkách a spôsobuje choroby z ožiarenia, prípadne aj smrť. Rádioaktivita sa delí na prirodzenú a umelú.

**Prirodzená rádioaktivita:** Prejav rádioaktivity je rozpad jadra, ktorý prebieha celkom samovoľne, spontánne, pričom sa ťažké jadro rozpadá na dva alebo tri ľahšie fragmenty a vyletuje jeden alebo viac neutrónov. Podľa správania sa v elektrickom a magnetickom poli sa zistilo, že rádioaktívne žiarenie sa skladá z troch zložiek, označených symbolmi  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ . Rádioaktivita nie je závislá na teplote a tlaku. Polčasom rozpadu je charakterizovaná nestálosť rádioaktívnych látok a je to v podstate doba, za ktorú sa rozpadne polovica rádioaktívnych jadier prítomných na začiatku rozpadu. Polčas rozpadu je charakteristický pre daný rádionuklid. Podľa niektorých teórií sú všetky látky rádioaktívne, ale nie sme schopní zmerať ich polčas rozpadu. Rádioaktivita každého rádionuklidu sa časom znižuje.

### Druhy rozpadov:

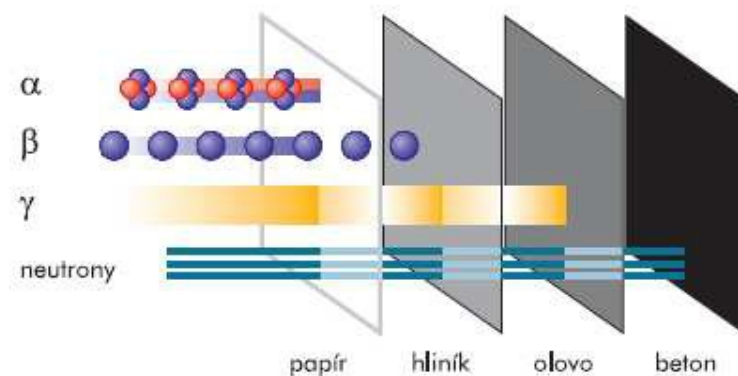
**$\alpha$  rozpad:** vyskytuje sa u ťažších atómov a toto žiarenie vydáva väčšina prirodzených rádioaktívnych prvkov. Pri tomto rozpade unikajú z rádioaktívnej látky častice  $\alpha$ , čo sú vlastne héliové jadrá alebo ich tiež nazývame plne ionizovaný atóm. Polčas rozpadu častíc  $\alpha$  je  $T = 10^{-4}$  s -  $10^{17}$  rokov.



**$\beta$  rozpad:** môže nastať pozitívny a negatívny beta rozpad. Počas rozpadu  $\beta$  častíc trvá  $T = 10^{-2} \text{ s} - 10^{15} \text{ rokov}$ . Negatívny beta rozpad je prúd záporne nabitých častíc - elektróny. Je charakteristický pre prvky s prebytkom neutrónov. Vnútri jadra dochádza k transmutácii neutrónu na protón, pričom vyletí z jadra elektrón. Pozitívny beta rozpad je naopak prúd kladne nabitých častíc - pozitronov. Pozitron je elementárna častica, ktorá je antičasticou elektrónu. Prvky, ktoré majú prebytok protónov podliehajú tomuto typu rozpadu. Vnútri jadra nastáva transmutácia protónu na neutrón.

**Záchyt elektrónov:** zachytenie elektrónu z najbližšej elektrónovej vrstvy jadrom, pričom dochádza k premene jedného protónu na neutrón.

**Žiarenie častíc  $\gamma$  - fotón:** emisia elektromagnetického žiarenia s veľmi krátkou vlnovou dĺžkou nastáva pri rozpadoch  $\alpha$  a  $\beta$  a jeho vyžiarením sa vyrovnávajú energetické rozdiely medzi rôznymi energetickými stavmi atómového jadra.



Obr. 3: Prienik častíc rôznymi materiálmi [39]

**Umelá rádioaktivita:** Tento typ rádioaktivity objavili I. a F. Joliot-Curie, keď pôsobili malými hmotnými časticami na stabilné jadrá a vznikali pritom nové doposiaľ v prírode nepoznané rádioaktívne prvky.

### Transmutácia (premena)

Je to typ jadrovej reakcie, pri ktorej sa ostreľované jadro elementárnymi časticami premení na jadro iného prvku, ktoré má odlišné protónové číslo aspoň o dve jednotky a nukleónové číslo maximálne o štyri jednotky. Väčšinou sa uvoľní ešte iná elementárna častica. [3], [4], [5]

### 3. Jadrové elektrárne

#### 3.1. Popis jadrovej elektrárne

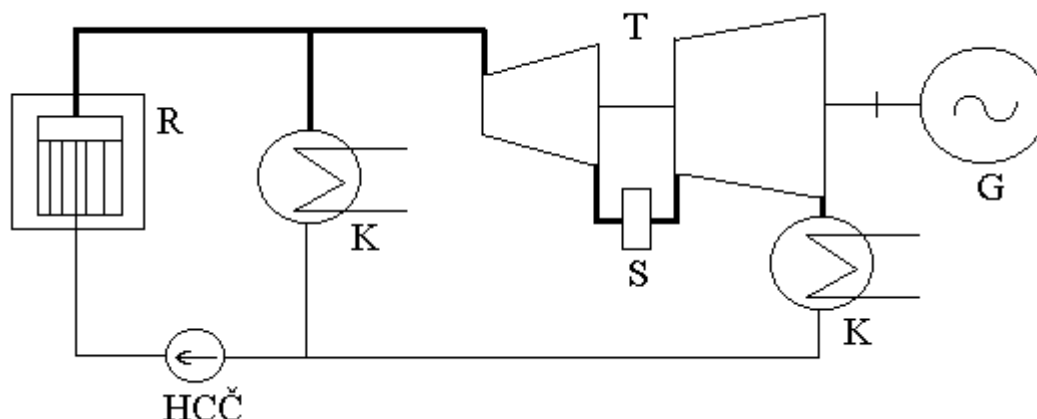
Jadrové elektrárne dnes fungujú na základe štiepenia jadier atómov ťažkých prvkov. Môžeme ich prirovnať aj ku klasickým tepelným elektrárnám s tým rozdielom, že u jadrových elektrární vzniká teplo, ktoré potrebujeme k premene z kvapalného skupenstva vody na plynné v jadrovom reaktore štiepením atómov jadrového paliva, t. j. jadier plutónia alebo jadier izotopu uránu. Zásadné rozdiely sú hlavne v spôsobe výroby tepla, tiež pri jadrových reakciách nevzniká len tepelná energia ale aj uvoľňujúce sa rádioaktívne žiarenie. Preto sa musí zabezpečiť ochrana okolia a pracovníkov v jadrových elektrárnach pred nepriaznivými účinkami tohto žiarenia. Jadrová elektráreň sa skladá z jedného, dvoch alebo troch hlavných a niekoľko pomocných okruhov (obrázky č. 4, 5, 6). V Českej republike alebo na Slovensku sa stretneme len s dvojokruhovým typom jadrovej elektrárne (VVER). Medzi pomocné okruhy zaraďujeme okruhy napájacej vody, chladenia kondenzátorov, likvidácie aktívnych odpadov, okruhy havarijného dochladzovania paliva, okruh kvapalného moderátora a iné. V primárnom okruhu obieha rádioaktívne chladivo, v sekundárnom okruhu obieha neaktívna para. Okruhy sú oddelené plochami parného generátora, ktorými sa predáva teplo. Primárny okruh tvoria reaktor, potrubné systémy k cirkulácii vody, parogenerátor, kompenzátor objemu a obehové čerpadlá. Je to uzavretý okruh, aby sa zabránilo úniku rádioaktívneho žiarenia do okolia. V reaktore, ktorý je obklopený betónom sa štiepením atómov paliva vytvára teplo, ktoré je prenášané kvapalným alebo plynným médiom (chladivom) do parného generátora. Tento generátor odovzdáva teplo druhému okruhu. Sekundárny okruh pozostáva zo sekundárnej časti parného generátora, potrubného systému druhého okruhu, turbogenerátora, kondenzátora a čerpadiel. Je to tak isto ako primárny okruh uzavretý obvod aby sa zabránilo možnému úniku rádioaktivity. Druhý okruh slúži na výrobu elektrickej energie. Neustále cirkulujúca, napájacia voda obmýva potrubie parného generátora a mení sa na sýtu paru, ktorá postupuje do stredotlakovej časti turbíny, kde sa ochladí a zvýši svoju vlhkosť. Ďalej prechádza separátorom pary, v ktorom sa zbaví vlhkosti a je vedená do dvoch nízkotlakových častí turbíny. Parná turbína poháňa alternátor, ktorý vyrába elektrickú energiu. Tá je odvádzaná cez transformátory a siete až k spotrebiteľovi.

#### 3.2. Rozdelenie jadrových elektrární na základe počtu okruhov teplonosného média

##### Jednookruhová jadrová elektráreň

U tohto typu elektrární neexistuje sekundárny okruh a para vyrobená v reaktore postupuje priamo do turbíny. Po prechode turbínou, kde vykoná prácu sa ochladzuje v kondenzátoroch a ide naspäť do reaktora. Tento dej prebieha stále dokola. Je to najjednoduchší typ, preto aj najlacnejší. Tento systém má tiež najlepšie termodynamické vlastnosti - je tu možné dosiahnuť lepšie

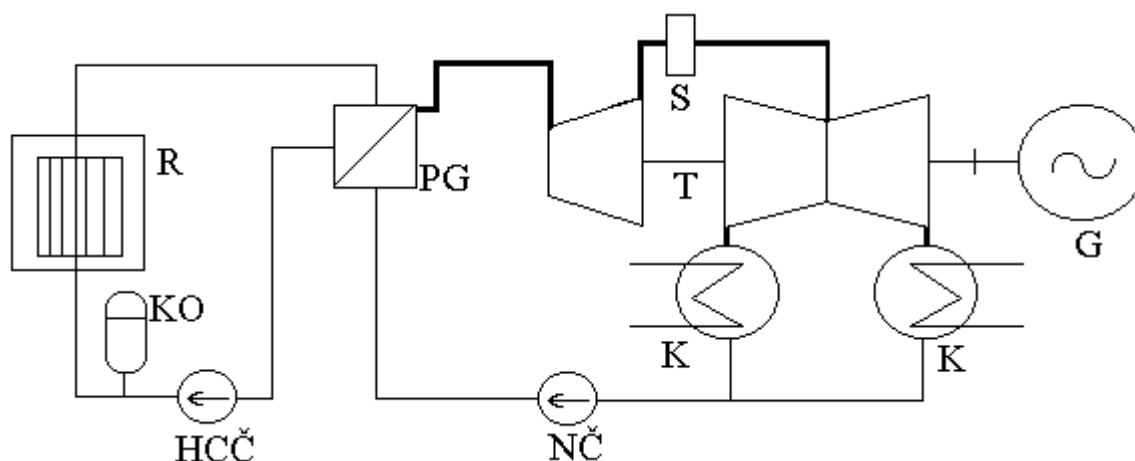
parametre sýtej pary. Má ale nevýhodu, že rádioaktívne chladivo obieha celý okruh a dochádza ku kontaktu turbíny, čerpadiel a kondenzátora s touto rádioaktívnou vodou, ktorá môže obsahovať stopové množstvá aktivovaných korózných produktov. Jednookruhový systém sa však u nových typov reaktorov nepoužíva (reaktor BWR - vysvetlenie skratky typu reaktora sa nachádza v prílohe č. 3.).



Obr. 4: Schéma jednookruhovej jadrovej elektrárne [3]

### Dvojokruhová jadrová elektráreň

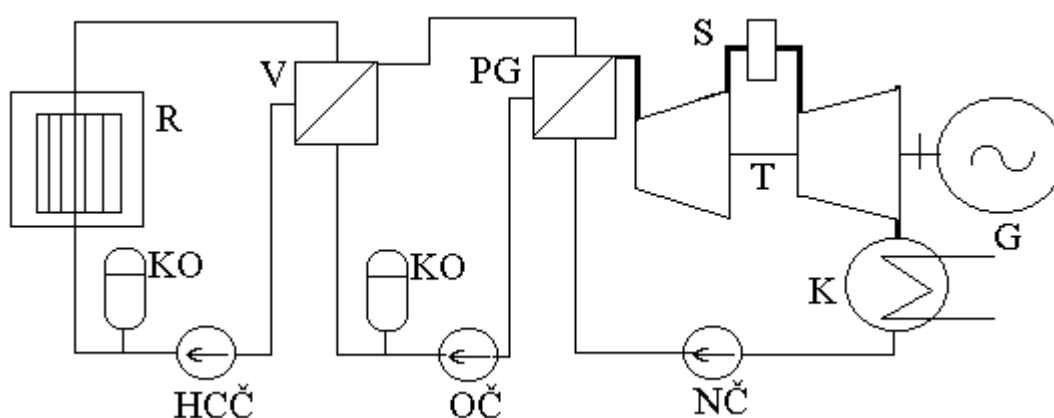
V dnešnej dobe je práve tento druh najviac používaný. Jednotlivé okruhy a ich činnosť už boli popísané. V tomto prípade nedochádza ku kontaktu reaktora a sekundárneho okruhu (reaktor PWR).



Obr. 5: Schéma dvojokruhovej jadrovej elektrárne [3]

### Trojokruhová jadrová elektrárň

Sú to najčastejšie rýchle množinové reaktory, ktoré využívajú na chladenie tekutý kov - kvapalný sodík (reaktor FBR). Ďalší okruh s výmenníkmi tepla sa tu pridáva z bezpečnostných dôvodov, pretože tu hrozí možnosť výbuchu, ak by sa poškodil sodíkový okruh a prišiel by do styku s parou. Primárny sodíkový okruh zabezpečuje prenos tepla z reaktora a je oddelený výmenníkom tepla od sekundárneho sodíkového okruhu, kde už neobieha ionizovaný sodík. Terciárny parný okruh plní funkciu ako klasický sekundárny okruh v dvojokruhovej jadrovej elektrárni.



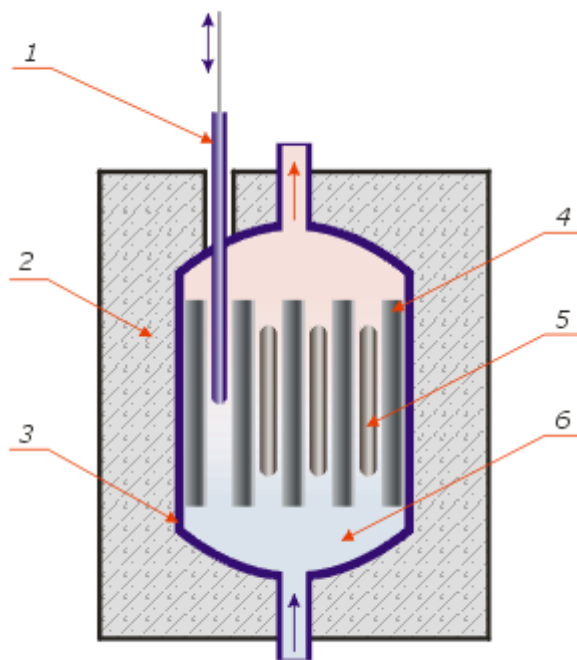
Obr. 6: Schéma trojokruhovej jadrovej elektrárne [3]

### 3.3. Jadrový reaktor

Jadrový reaktor - technologické zariadenie, ktoré je vlastne generátorom tepla, ktorá sa uvoľňuje pri reťazovej štiepnej alebo termojadrovej reakcii. Je to zariadenie, v ktorom samovoľnou reťazovou reakciou štiepenia atómových jadier jadrového paliva dochádza k uvoľňovaniu jadrovej energie a následne jej premene na tepelnú, ale tiež k uvoľňovaniu rádioaktívneho žiarenia. Stredná hodnota energie uvoľnených neutrónov pri štiepení je približne 2 MeV. Sú to dosť rýchle neutróny a preto je potrebné k ich premene na tepelné (pomalé) znížiť ich rýchlosť. Nato slúži moderátor. Energia rýchlych neutrónov sa zníži na hodnotu tepelných neutrónov viacnásobnými zrážkami neutrónov s časticami moderátora. Pri týchto zrážkach neutrón stráca časť svojej kinetickej energie, a tak sa spomaľuje. Aby sa však reakcia udržala na rovnakom výkone, musí sa zabezpečiť spomalenie priemerne len jedného neutrónu z každého rozštiepeného jadra. Úlohou moderátora je teda ovládnuť reťazovú reakciu a udržať multiplikačný faktor neutrónov na hodnote 1. Najčastejšie moderátory sú ľahká voda  $H_2O$  alebo ťažká voda  $D_2O$ , či grafit, teda materiály s malou schopnosťou absorpcie neutrónov a s malou atómovou hmotnosťou. Pre fungovanie reaktora je nutné udržiavanie ďalšej dôležitej činnosti a to chladenia aktívnej zóny reaktora. Chladivo vlastne odvádza teplo vznikajúce pri štiepení jadier. Práve podľa spôsobu, akým sú vykonávané vyššie spomenuté činnosti (chladenie a moderácia), ale tiež podľa druhu a konfigurácie (zostavenia)

d ďalších zložiek reaktora, paliva a absorbátora sa reaktory rozdeľujú na rôzne typy. Význam niektorých môže byť potlačený, napr. moderátor u rýchlych reaktorov, alebo dokonca preberá aj funkciu iných komponentov reaktora, napr. chladiivo je súčasne aj moderátor. Existuje veľké množstvo možností ako zostaviť reaktor, ale len zopár druhov sa osvedčilo v prevádzke.

Na obr. 7. je principiálna schéma heterogénneho jadrového reaktora.



Obr. 7: Základné časti jadrového reaktora [5]

1 - riadiace a ochranné tyče; 2 - biologická ochrana; 3 - tepelná ochrana; 4 - moderátor; 5 - palivové články; 6 - chladiace médium.

Vysvetlené základné pojmy z oblasti jadrových reaktorov sa nachádzajú v prílohe č. 2.

Existuje mnoho oblastí, kde sa používajú reaktory. Môžu to byť reaktory pre školské, výskumné účely, pre výrobu čistých štiepných materiálov, pre pohon lodí, ponoriek, rakiet. V tabuľke číslo 1. si však rozdelíme asi najdôležitejšie reaktory na výrobu energie na rôzne typy podľa rôznych charakteristík.

Tab. 1: Rozdelenie jadrových reaktorov [3]

Charakteristika	Druhy
Použitie	Školské, výskumné, produkčné, transportné, stacionárne energetické, špeciálne
Druh jadrovej reakcie	Štiepne, termojadrové

Palivový cyklus	Burnery, konvertory, pseudokonvertory, breedery
Energia neutrónov	Tepelné, nadtepelné, rýchle
Usporiadanie aktívnej zóny	Homogénne, heterogénne
Štiepny materiál	$^{233}\text{U}$ , $^{235}\text{U}$ , $^{239}\text{Pu}$ , ( $^{241}\text{Pu}$ )
Množivý materiál	$^{232}\text{Th}$ , $^{238}\text{U}$ , ( $^{240}\text{Pu}$ )
Moderátor	C, H <sub>2</sub> O, D <sub>2</sub> O, Be, (BeO), organické zlúčeniny, ZrH <sub>2</sub> , (izomerické polyfenyly)
Chladiivo	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , He, NO <sub>2</sub> , (disociujúce plyny), H <sub>2</sub> O, D <sub>2</sub> O, organické zlúčeniny, (izomerické polyfenyly), roztavené soli (fluoridy LiF, BeF <sub>2</sub> , ZrF <sub>4</sub> ), tekuté kovy (Na, K, Hg)
Reflektor	C, H <sub>2</sub> O, D <sub>2</sub> O, Be, (BeO), organické zlúčeniny, ZrH <sub>2</sub> , (izomerické polyfenyly)
Konštrukcia reaktora	Tlaková nádoba, tlakové rúrky (kanály)
Usporiadanie chladiacich okruhov	Vonkajšie s chladiacimi slučkami, vnútorné integrované v nádobe reaktora
Chemická väzba štiepneho alebo množivého materiálu	Kov, oxid, karbid, (nitrid, silicid), fluorid
Počet konštrukčných zložiek aktívnej zóny	Trojzložkové, dvojzložkové, jednozložkové

Schopnosť reprodukovať jadrové palivo je tiež veľmi dôležitým faktorom pri rozdelení jadrových reaktorov. „Burnery“ (napr. reaktory typu PWR (viď. príloha č. 3.) na vysoko obohatený  $^{235}\text{U}$ ) sú reaktory, ktoré spaľujú štiepny materiál a neprodukujú žiaden nový. „Pseudobreeder“ alebo „konvertor“ je naopak typ reaktora, ktorý vyrába aj nový štiepny materiál. Rozdiel medzi konvertorom a pseudobreederom je, že konvertor (napr. stacionárne reaktory typu PWR na mierne obohatený  $^{235}\text{U}$  vyrábajú  $^{239}\text{Pu}$ ) spaľuje viac jadier štiepných materiálov ako vyrába a pseudobreeder (energetické reaktory MSBR na vysoko obohatený  $^{235}\text{U}$  a  $^{232}\text{Th}$  spaľujú  $^{235}\text{U}$  a vyrábajú  $^{233}\text{U}$ ) zase naopak viac jadier produkuje ako spáli. „Breedery“, tzv. množinové reaktory (energetické reaktory LMFBF na  $^{239}\text{Pu}$  a na  $^{239}\text{Pu}$  produkujú rovnako  $^{239}\text{Pu}$ ) produkujú viac chemicky rovnakých, nových jadier štiepných materiálov ako spália starých jadier. Ďalším dôležitým faktorom pri triedení reaktorov je energia neutrónov. Rozoznávame rýchle, pomalé (tepelné) a nadtepelné neutróny. Moderátor, ktorý spomaľuje rýchle neutróny na pomalé, je buď v homogénnej zmesi s jadrovým palivom alebo v heterogénnej mriežke, ktorá je oddelená od paliva. Delenia podľa počtu konštrukčných zložiek aktívnej zóny sa uskutočňuje na základe určenia počtu ich základných heterogénnych zložiek. U trojzložkových aktívnych zónach sú tieto tri komponenty (palivo, chladiivo a moderátor) oddelené väčšinou skupensky a aj priestorovo. Dvojzložkové zóny sa vyskytujú v reaktoroch, kde nie je moderátor (napr. LMFBF) alebo je moderátor s chladiivom identický (napr. PWR). Patria tu aj reaktory, ktoré fungujú s roztokom

paliva v chladive (napr. MSBR) a reaktory s palivovými článkami, ktoré produkujú štiepny materiál v pevnom moderátore (napr. HTGR). Posledné jednozložkové sú len v homogénnych reaktoroch, v ktorých chladiivo obsahujúce aj rozpustené palivo má aj funkciu moderátora. Aby výstavba jadrových elektrární bola aj ekonomická, musela sa urobiť analýza fyzikálnych, technických a ekonomických aspektov a následné zhodnotenie možných variant. Po mnohých rokoch vývoja sa dnes používajú niektoré najvhodnejšie typy. V prílohe č. 3. sú uvedené medzinárodná označenia jednotlivých typov reaktorov. V nasledujúcich odstavcoch sú podrobnejšie popísané iba niektoré kvôli dodržaniu určitej stručnosti a prehľadnosti.

### 3.3.1. Ľahkou vodou moderované a chladené reaktory na obohatený urán (LWR)

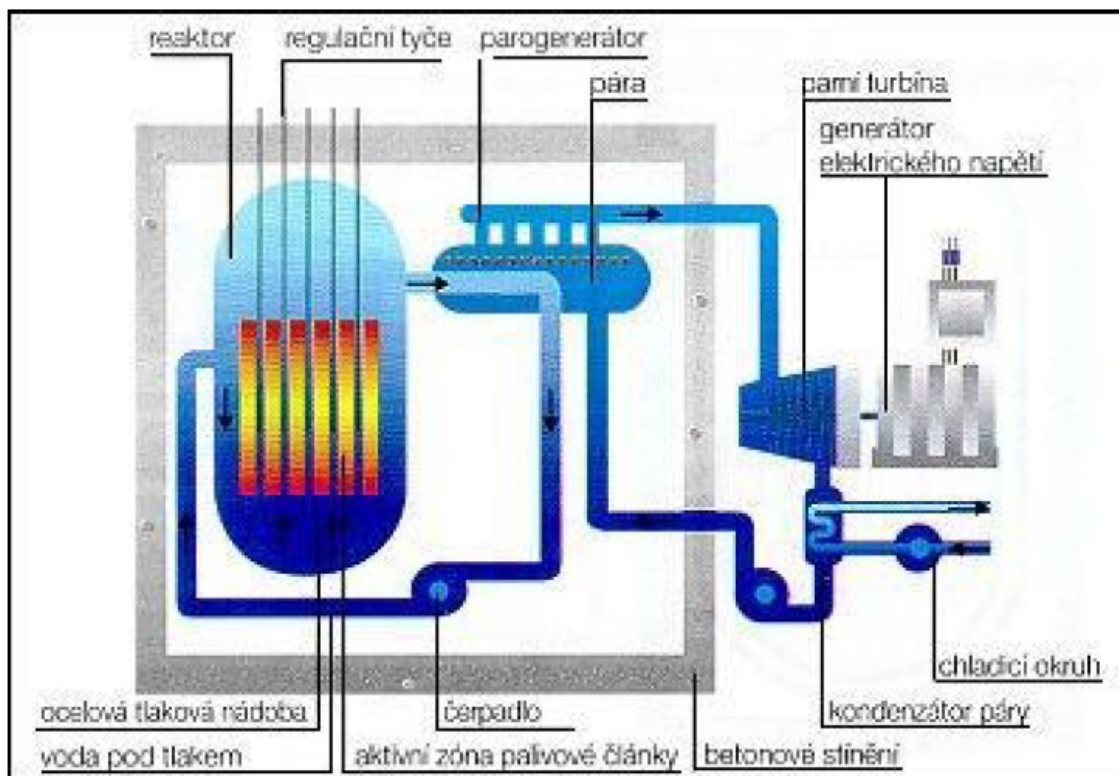
V týchto najbežnejšie používaných reaktoroch sa chladiivo - voda používa aj ako moderátor reakcie. To umožňuje zjednodušiť konštrukciu reaktora oproti iným typom. Sú to kompaktné reaktory, dostatočne lacné, jednoduché a vysoko spoľahlivé, čo sa týka prevádzky. Musia pracovať s palivom, ktoré je obohatené o o urán vo forme  $\text{UO}_2$ , lebo multiplifikačný koeficient nedosahuje hodnotu jedna pri prírodnom uráne. Obohatené palivo odstránilo fyzikálne limity aktívnej zóny. Ľahkovodné aktívne zóny majú vynikajúce autoregulačné vlastnosti (veľké záporné koeficienty reaktivity teplotné a výkonové), pretože chladiivo - voda je aj moderátor. Moderátor tak sleduje všetky výkonové zmeny parametrov chladiiva. Nedostatkom týchto reaktorov je teplota obalov palivových elementov z dlhodobého hľadiska mechanických vlastností. Intenzita prestupu tepla z palivového článku, ktorá zabezpečuje, aby v daných podmienkach nenastala kríza varu a tým narušenie obalu palivového prútika, patrí tiež medzi technické limity tohto typu reaktora. Poznáme dva typy konštrukcií takýchto reaktorov, a to: **Varné (BWR) a Tlakovodné (PWR,VVER)**.

**Tepelné, tlakové reaktory**, ktoré označujeme skratkou PWR alebo ruskou skratkou VVER majú v súčasnej dobe medzi reaktormi dominantné postavenie, čo sa týka prevádzkovaných jednotiek ale aj veľkosti výkonu na jednotku. Tento typ sa nachádza aj v jadrových elektrárnach - v Temelíne a v Dukovanoch. Ako palivo sa používa  $\text{UO}_2$ , ktoré je hermeticky uzavreté v trubke, ktorá je zo zirkóniovej zliatiny. Tieto valcové trubice tvoria palivový element. Zväzok týchto palivových elementov vytvára palivový článok a vyplňa tak aktívnu zónu vnútri tlakovej nádoby reaktora. Raz za rok a pol prebieha výmena 1/3 palivových článkov, pričom musí byť odstavená prevádzka reaktora. Aktívnou zónou okolo palivových elementov obieha voda, ktorá je pod vysokým tlakom. Tým sa ohrieva a potrubím postupuje do parogenerátorov, kde zohrieva vodu sekundárneho okruhu až do varu a vznikajúca para rozbieha turbínu spojenú s generátorom a vyrába tak elektrický prúd.

#### „Základné parametre 1000 MW reaktoru:

- palivo - obohatený urán vo forme oxidu urančitého ( $\text{UO}_2$ ), obohatený izotopom  $^{235}\text{U}$  na 3,1% až 4,4%,
- rozmery aktívnej zóny 3 m priemer x 3,5 m výška,

- tlak vody v reaktore 15,7 MPa,
- teplota vody na výstupe z reaktoru 324°C ,
- účinnosť elektrárne 32,7 %,
- množstvo paliva v reaktore 60 až 80 ton  $\text{UO}_2$  „ [5]



Obr. 8: Reaktor PWR [5]

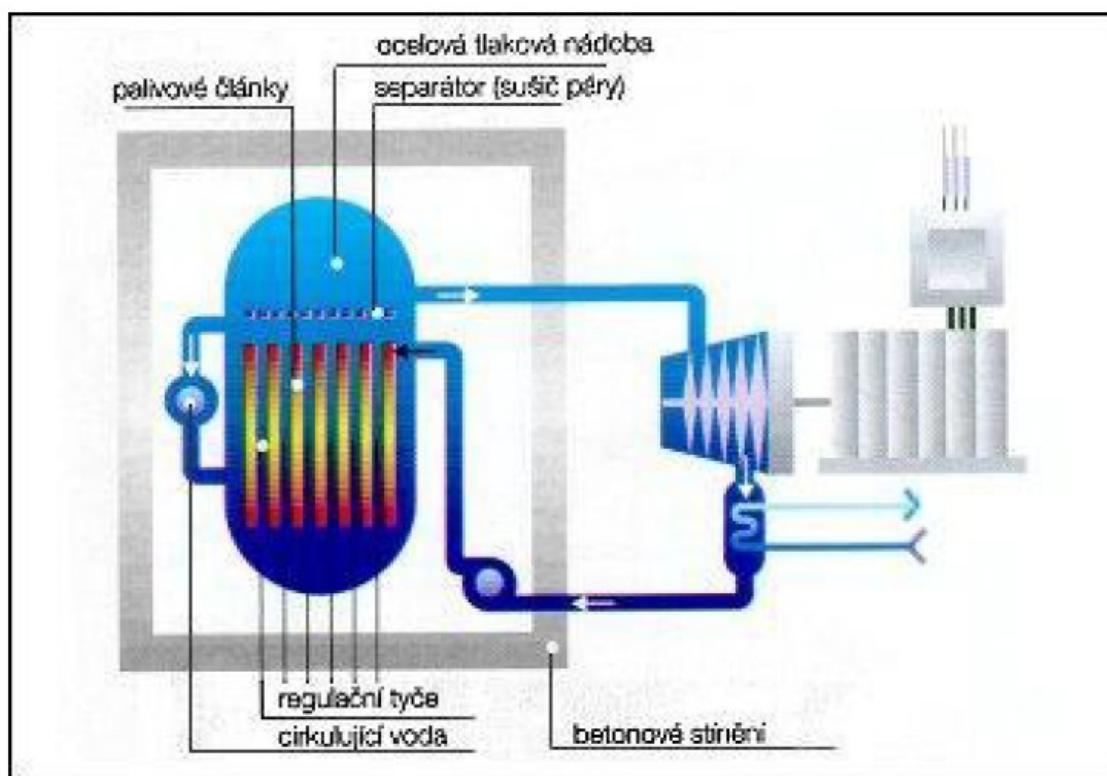
**Tepelné, varné reaktory** sú označované skratkou BWR. Je to druhý najrozšírenejší typ reaktoru po PWR a sú využívané hlavne v USA a na západe. Ich aktívna zóna je podobná ako u tlakovodných reaktorov. Rozdiel medzi varným a tlakovodným reaktorom je, že už v aktívnej zóne sa voda ohrieva až do varu. V hornej časti reaktoru sa para zbaví kvapiek a je pripravená poháňať turbínu. Výhoda v podobe zjednodušenia však prináša nevýhodu v podobe rádioaktívnej pary na turbíne.

**„Základné parametre 1000 MW reaktoru:**

- palivo - mierne obohatený urán vo forme oxidu uranitého ( $\text{UO}_2$ ), obohatený izotopom  $^{235}\text{U}$  na 2,1%,
- rozmery aktívnej zóny 4,5 m priemer x 3,7 m výška,
- tlak vody v reaktore 7 MPa,



- teplota vody na výstupe z reaktoru  $286^{\circ}\text{C}$  ,
- účinnosť elektrárne 33,3 %,
- množstvo paliva v reaktore 122,3 ton  $\text{UO}_2$ “ [5]



Obr. 9: Reaktor BWR [5]

### 3.3.2. Plynom chladené grafitové reaktory (GCR, AGR, HTGR)

Zo skupiny plynom chladených reaktorov dosiahol najväčší úspech typ CGR, nazývaný tiež Magnox. V súčasnosti sa však už nestavajú. Chladivom je oxid uhličitý. Označenie Magnox má základ v štruktúre palivových článkov. Je to skratka pre oxid horčíka, ktorý je na povrchu palivových článkov, ktoré majú tvar tyče a skladajú sa z kovového prírodného uránu. Tieto palivové tyče sú umiestnené do moderátora - grafitu, v ktorom sú vytvorené kanály práve na palivo. Pre reaktor je charakteristická vysoká bezpečnosť. Aktívna zóna sa nachádza v ocelevej, tlakovej nádrži a navyše je obklopená betónom. Konštrukcia umožňuje vymenat' palivo aj behom prevádzky. Oxid uhličitý prúdi okolo palivových článkov, ohrieva sa ide do parogenerátorov, kde odovzdáva svoje teplo vode sekundárneho okruhu a vzniká para, ktorá roztáča turbínu pripojenú na generátor. Plyn po predaní tepelnej energie vode sa ochladí a dúchadlá ho žnú späť do reaktora.

Reaktor AGR je ďalší zo skupiny plynom chladených reaktorov. Vyskytujú sa zatiaľ len vo Veľkej Británii. Rozdiel oproti typu CGR je v obmene palivových článkov. Palivom nie je už

prírodný kovový urán, ale urán obohatený izotopom  $^{235}\text{U}$  vo forme oxidu uraničitého. Palivové články sú uložené v obale z nehrdzavejúcej ocele.

Posledný zástupca z tejto skupiny je reaktor HTGR. Je to tak isto ako predchádzajúce dva tepelný, plynom chladený a grafitom moderovaný reaktor. Nastala však výrazná zmena, a to že HTGR je vysokoteplotný grafitový reaktor. Chladivom je inertný plyn a tak netreba grafit chladiť. Aktívna zóna sa skladá z palivových článkov, ktoré obsahujú malé guľičky s priemerom 0,1 až 0,8 mm, ale so špeciálnymi vrstvami, ktoré ich pokrývajú dosahujú priemer približne 0,9 mm. Guľičky sú vlastne častice karbidov jadrových palív. Asi 20 000 týchto malých guľičiek tvorí jednu palivovú guľu podobnú tenisovej loptičke. Gule sú sypané do aktívnej zóny a a na dne sú zase odoberané. Je to stály cyklus. Dúchadlami hnané hélium vykonáva prenos tepla z aktívnej zóny do parogenerátorov. Ďalej už prebieha dobre známy proces výroby elektrickej energie.

### 3.3.3. Ľahkou vodou chladené grafitové reaktory na obohatený urán (LWGR, RBMK)

Chladivom je obyčajná voda a moderátorom je grafit. Sú to reaktory veľkých výkonov. Tento typ reaktoru sa nachádzal už v historicky prvej jadrovej elektrárni na svete, ale bol tiež využívaný v Černobyle. Po tragédii, ktorá sa stala na Ukrajine sa ich výstavba zastavila a dnes ich funguje len zopár. Palivo - valčeky z  $\text{UO}_2$  sú uložené v trubiciach zo zliatiny zirkónia a niobu. Aktívna zóna reaktoru LWGR má tlakové kanály rozmiestnené v grafitovom bloku tvaru valca. V každom kanáli sú umiestnené trubice s palivom. Týmito kanálmi prúdi tiež voda, ktorá sa v nich ohrieva a z kanála už prúdi zmes vody s parou, ktorá sa oddelí od vody v separátore. Nasýtená rádioaktívna para pokračuje až k turbíne, pretože je to jednookruhová elektráreň.

### 3.3.4. Reaktory moderované ťažkou vodou (HWR)

To, že moderátorom je ťažká voda, ktorá ma vynikajúce vlastnosti, má výhody: nízku absorpciu neutrónov, dovoľujúcu vysoké vyhorenie jadrového paliva a krátku migračnú dĺžku neutrónov, ktorá umožňuje celistvé usporiadanie aktívnej zóny. Palivom týchto reaktorov je v dnešnej dobe prírodný urán. Spočiatku sa vývoj týchto reaktorov uberal dvomi smermi. Jeden prebiehal v Švédsku, kde skúmali tzv. typy jadrových teplární PHWR a BHW. Bol však pozastavený. Druhý bol v Kanade bádajúci po reaktore, ktorý by štiepil prírodný urán. Tento vývoj sa ukázal ako dobrý, pretože nebolo nutné obohacovať urán a postupne reaktor CANDU (CANada Deuterium Uranium) expandoval do sveta. Valčeky  $\text{UO}_2$  zavreté v krátkych trubkách zo zliatiny zirkónia tvoria palivové tyčky. Palivová tyčka je základná jednotka palivového článku. Aktívna zóna sa skladá z nádoby tvaru ležiaceho valca, ktorá má vodorovné prieduchy pre tlakové trubky, v ktorých sú palivové články. Okolo nich prúdi chladiaca ťažká voda. Tieto reaktory majú v aktívnej zóne tiež kanály, ktoré oddeľujú teplé chladiivo od studeného moderátora, pretože ťažkovodný moderátor musí byť pokiaľ možno, čo najviac chladný. Moderačná schopnosť sa znižuje s teplotou moderátora. Prebieha tu zase kolobeh prenosu tepla takým spôsobom, že chladiaci plyn prúdiaci

okolo palivových článkov sa ohrieva a prenáša teplo z aktívnej zóny reaktora do parogenerátorov. Na kolobehu sa zúčastňujú aj dúchadlá, ktoré ochladený plyn posielajú späť do reaktora.

### 3.3.5. Rýchle množivé reaktory chladené tekutými kovmi (FBR)

Tieto reaktory nie sú moderované, pretože sa jedná o rýchle reaktory. Cieľom týchto reaktorov je lepšie využitie paliva, lebo „breedery“ vyprodukujú viac nových štiepnych materiálov chemicky rovnakého druhu ako spália. Vývojom sa zaoberalo veľa krajín, no najďalej sa dostalo Francúzsko (Phénix a Super Phénix), ktoré má už aj funkčnú komerčnú elektráreň. Palivo tvorí silno obohatená zmes oxidov  $\text{PuO}_2$  a  $\text{UO}_2$  nachádzajúca sa v obalových trubkách z nehrdzavejúcej ocele. Aktívna zóna zložená z týchto trubiek je na viac ešte obklopená plášťom obsahujúcim urán vo forme  $\text{UO}_2$  zase v trubkách z antikoróznej ocele. Prenos tepla sa uskutočňuje tekutým sodíkom, ktorým je naplnená aktívna zóna. Odtiaľ postupuje ohriaty sodík do výmenníku tepla umiestneného tiež v reaktore. Vo výmenníku predá teplo sodíku v sekundárnom okruhu. Tento sodík je ale už nerádioaktívny a prúdi do parného generátora, v ktorom vzniká para slúžiaca na pohon turbíny. Výhodou je, že takéto reaktory môžu pracovať aj pri nízkom tlaku, pretože sodík má vysoký bod varu. [3], [5]

## 4. Aktuálny stav a prípadné rozšírenie jadrových elektrární v ČR a vo svete

### 4.1. Všeobecný prehľad o aktuálnych údajoch

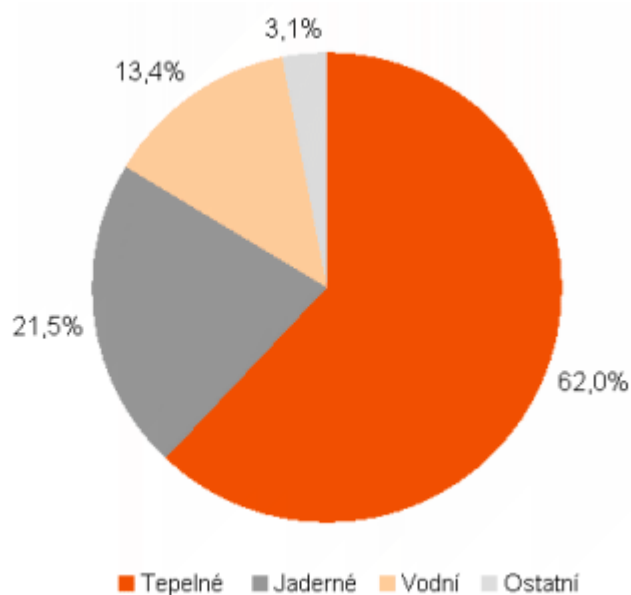
Energia z jadrových elektrární tvorí dnes asi 14 % (inštalovaný výkon je 372 158 MW<sub>e</sub>) celkovej výroby elektrickej energie na celom svete. 435 jadrových blokov tvorí jadrové elektrárne, ktoré sa nachádzajú v 30 štátoch. Jadrové elektrárne v týchto štátoch pokrývajú väčšinou základné pásmo denného diagramu zaťaženia. V procese výstavby je ďalších 60 v 13 krajinách a podľa informácií medzinárodnej energetickej agentúry IEA a štatistík WNA majú ďalšie bloky pribúdať v nasledujúcich rokoch. Plánuje sa výstavba 163 reaktorov a predbežné úvahy hovoria o vybudovaní 329 jadrových reaktorov s celkovým inštalovaným výkonom 380 000 MW, pretože spotreba elektrickej energie sa neustále zväčšuje (napr. za rok len členské štáty OECD vyrobili 10 180 TWh elektriny, oproti roku 2009 je to nárast o 3,4 %).

V Českej republike je momentálne v prevádzke 6 reaktorov, z toho 4 bloky sú v Dukovanoch a 2 v Temelíne. V Dukovanoch sú 4 bloky typu VVER 440 a každý má inštalovaný výkon 456 MW, no neustále prebiehajúcou modernizáciou sa má zvýšiť. Sú v prevádzke postupne od roku 1985, kedy sa pustil prvý blok až do roku 1988, keď sa sprevádzkoval posledný štvrtý reaktor. Novšia jadrová elektráreň je v Temelíne, ktorá má jeden blok typu VVER 1000 o výkone 1000 MW od roku 2000 a druhý taký istý od roku 2002. Pôvodne táto elektráreň mala mať 4 bloky, no po páde komunistického režimu výrazne poklesla ekonomika a tiež sa znížila spotreba elektrickej energie. A preto sa prehodnotila situácia a schválila sa výstavba iba dvoch blokov. Keď si všimneme tabuľku č. 2. - štruktúra inštalovaného výkonu v ČR, zistíme, že podiel jadrových elektrární na štruktúre inštalovaného výkonu sa od roku 2003, teda od spustenia Temelína prakticky nemení, čo znamená, že žiadne významné zdroje nepribudli, s výnimkou masívnej výstavby fotovoltaiických elektrární v posledných rokoch, v dôsledku čoho došlo k poklesu podielu JE asi o 1,5 % v štruktúre inštalovaného výkonu v ČR v roku 2010. Pri porovnaní podielu jadrovej energetiky na výrobe elektriny v ČR (okolo 33 %) a v štátoch OECD ako celku za rok 2010, dospejeme k výsledku, že v ČR je tento podiel omnoho väčší. V porovnaní podielu jadrovej energie na výrobe elektriny jednotlivých štátov sveta patrí ČR desiatu priečku. Prvé miesto obsadilo Francúzsko. [7], [34]

Tab. 2: Štruktúra inštalovaného výkonu v ČR [%] [31]

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
<b>PE</b>	70,5	70,2	65,3	61,4	61,4	61,2	61,1	60,6	60,3	58,5	53,7
<b>PPE + PSE</b>	4,3	4,5	4,7	4,5	4,5	4,6	4,6	4,6	5,1	5,1	5,1
<b>VE</b>	13,7	13,9	13,1	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,3	11,9	11
<b>JE</b>	11,5	11,4	16,9	21,7	21,6	21,6	21,5	21,4	21,2	20,9	19,4

<b>VTE +FVE</b>	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,4	1	1,1	3,6	10,8
<b>Suma ČR</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Z toho ČEZ</b>	66,2	65,7	68,3	70,1	69,7	69,8	69,4	69,2	69	67,1	61,6
<b>Inštalovaný výkon [MWe]</b>	15324	15443	16311	17344	17434	17412	17508	17561	17724	18326	20073



Obr. 10: Štruktúra svetovej výroby elektriny pre rok 2010 v krajinách OECD [7]

V európskej únii má jadrová energetika významnú úlohu. Približne jedna tretina energie sa vyrobí v jadrových elektrárnach. Zoskupenie 27 štátov európskej únie vytvára veľkú jadrovú veľmoc v mierovom využívaní jadrovej energie. Vyrobí sa tu o 8 % elektriny z jadrových elektrární viac ako v Severnej Amerike a skoro trojnásobok produkcie Japonska a sedemnásobok produkcie Ruskej federácie. Jadrové elektrárne sa v Európe stavajú vo Fínsku, Francúzsku, Rusku a na Slovensku. Bulharsko, Česká republika, Francúzsko, Poľsko, Rusko, Ukrajina a Veľká Británia zatiaľ iba pripravujú výstavbu. Rusko má veľmi odvážny plán postaviť do roku 2020 až dvadsaťdva nových, tisícmegawatových reaktorov a množstvo menších, plávajúcich reaktorov. Naopak Nemecko ukončilo prevádzku ôsmich najstarších reaktorov a do roku 2022 chce uzavrieť ďalších deväť. Taliansko zavrholo plán na výstavbu jadrových elektrární po hlasovaní ľudu, ktoré by vyrobili 25 % spotreby krajiny. Taktiež Švajčiarsko prehlásilo, že po skončení životnosti svojich piatich jadrových elektrární skončí s výrobou energie z jadra. Tieto krajiny ovplyvnila hlavne nedávna katastrofa z marca roku 2011 v Japonsku - Fukušime. Keď po zásahu prírody (tsunami) nastala havária v štyroch blokoch elektrárne Fukušima. Ale aj po ďalších tragédiách spôsobených haváriou jadrových elektrární, či už tej z roku 1986, ktorá sa stala na ukrajinskom Černobyle alebo

z roku 1979 v Three Mile Islande výstavba a rozvoj elektrární stagnovali, napriek tomu v ďalších obdobiach zažívali renesanciu. Táto renesancia nemala a dodnes nemá pravdepodobne také rozmery, aké by mala v prípade, že by žiadne havárie nenastali. Myslím si, že aj po tejto nedávnej havárii nastane podobná situácia, ak sa nepodari presvedčiť širokú verejnosť o úplnej bezpečnosti a potrebe energie z jadra. Vidno to aj na rôznych grafoch, ktoré znázorňujú predikovaný a skutočný inštalovaný výkon v jadrových elektrárnach. Sú tam jasné odklony predpovede od skutočnosti po rôznych protiatómových protestoch a jadrových haváriách. [7], [14]

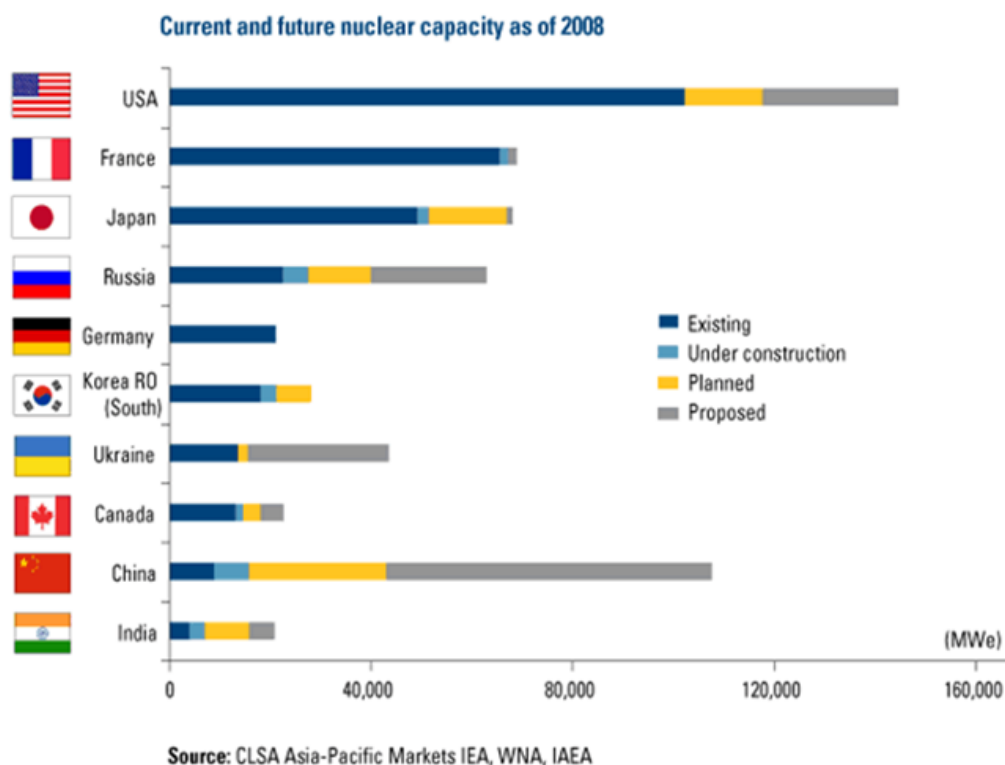


Obr. 11: Mapa rozmiestnenia jadrových elektrární na svete [13]

Najviac elektrární vyrábajúcich elektrinu z jadra je v USA (104), vo Francúzsku (58), Japonsku (51), Rusku (32), Južnej Kórei (21), Indii (20), Veľkej Británii (18) a v Kanade (17). Najviac využívané typy reaktorov sú tlakovodné PWR (65 %), na druhom mieste sú varné reaktory BWR (22 %). Vzhľadom k tomu, že aj dnes je ešte stále väčšina stavaných a projektovaných reaktorov tlakovodných, tak tieto typy reaktorov budú hrať dominantné postavenie ešte nejaké desaťročie. Na obrázku číslo 12. zobrazujúcom nielen súčasnú kapacitu z jadra z roku 2008, ale aj predpokladanú kapacitu reaktorov, ktoré by mali byť postavené v budúcnosti jasne vidno, ktoré štáty aj napriek narušenému vzťahu verejnosti k jadrovej energetike v blízkej dobe výrazne navýšia výrobu z jadra. Je to hlavne oblasť Ázie, predovšetkým okrem už spomenutého Ruska a niektorých európskych krajín Čína. V Číne je 26 reaktorov vo výstavbe, 56 je naprojektovaných a 120 je navrhnutých. Je to obrovský počet, ale stále sa zvyšujúci počet obyvateľov, hospodársky rozvoj hlavne v krajinách s veľkým počtom obyvateľov ako je napr. Čína, úbytok fosílnych palív, globálne otepľovanie a mnohé iné faktory vyžadujú spoľahlivý energetický zdroj, ktorý neznečisťuje ovzdušie. Takými sú práve jadrové elektrárne a preto sa predpokladá, že svetová



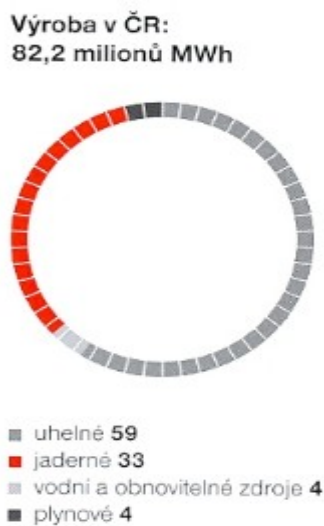
výroba elektriny v jadrových elektrárnách, ktorá činí momentálne okolo 2630 TWh elektriny bude aj naďalej rásť. [7], [14]



Obr. 12: Súčasná kapacita, kapacita vo výstavbe, plánovaná a navrhovaná kapacita energie z JE [13]

## 4.2. Jadrová energetika v Českej republike

Česká republika je na tom z hľadiska energetiky veľmi dobre. Patrí medzi najväčších exportérov (na export išlo až 12 miliónov MWh domácej produkcie) elektriny v Európskej únii (patrí jej druhá pozícia za Francúzskom). V strednej Európe ako dodávateľ elektrickej energie nemá konkurenciu. V roku 2009 jadrové elektrárne vyrobili 33% elektrickej energie v ČR, a predstavovali 21% (3830 MW) celkového inštalovaného výkonu v ČR. Príspevok týchto zdrojov na celkovej výrobe je taký vysoký preto, že sú využívané ako základné zdroje z dôvodu nízkych premenných nákladov v porovnaní s ostatnými zdrojmi. A podiel jadrovej energetiky na výrobe elektriny v Česku by sa mal v budúcnosti zvýšiť na 50 až 60 %. Aby sa to však podarilo, museli by sa dostavať ďalšie bloky elektrárne Temelín. V Blahutoviciach na Novojičínsku sa plánuje aj výstavba ďalšej jadrovej elektrárne, ale rok spustenia jej prevádzky nebude určite skôr ako v roku 2040. Susediace štáty Českej republiky nie sú na tom ani zďaleka tak dobre ako ČR. Nemecko po odstavení jadrových elektrární bude mať problémy hlavne na juhu krajiny (na severe je množstvo veterných elektrární), ďalej Rakúsko dováža zhruba 5 miliónov MWh, Slovensko bude až po dostavaní Mochoviec mať vyrovnanú spotrebu aj výrobu. Poľsko je tiež prebytkové, ale vyrába až 85 % z uhlia. [6], [7], [33]



Obr. 13: Podiel na výrobe elektriny v roku 2009 [33]

#### 4.2.1. Jadrová elektrárň Temelín – aktuálna situácia



Obr. 14: Jadrová elektrárň Temelín [32]



ČEZ vypísala tender na dostavbu dvoch blokov elektrárne Temelín s opciou na ďalšie tri bloky v inej lokalite v Európe. Podmienkou bola koncepcia tlakového ľahkovodného reaktoru. Vo verejnej zákazke sa bude vyberať z troch ponúk, a to z tlakovodných reaktorov AP 1000 od firmy Westinghouse, EPR firmy AREVA a MIR 1200 konzorcia Škoda Jadrové strojárstvo s Atomstrojexportom. Samotné začatie výstavby ale nie je také jednoduché, najskôr prebehlo posudzovanie vplyvov na životné prostredie a zdravie obyvateľov. Toto posudzovanie prebieha medzinárodne a tak aj Nemecko a Rakúsko poslali svoje pripomienky. Následne ČEZ predloží hodnotiacu správu z tohto posudku pre Ministerstvo životného prostredia. ČEZ, a. s. má financovať všetky náklady spojené so stavbou týchto blokov. Ako to väčšinou v prípade stavby jadrovej elektrárne býva, tak aj v tomto prípade nastane určite časový sklz a rok dokončenia stavby sa určite posunie. Okrem iného tu tiež prebieha veľa investičných akcií, ktorých hlavnou úlohou je aj naďalej zvyšovať úroveň jadrovej bezpečnosti a spoľahlivosti zariadenia. [14], [33]

#### **4.2.2. Jadrová elektráreň Dukovany – aktuálna situácia**

Do budúcnosti sa plánuje aj s výstavbou ďalšieho bloku v JE Dukovany. Momentálne tu okrem mapovania situácie pre rozšírenie inštalovaného výkonu v danej lokalite (závery tejto analýzy hovoria o možnej výstavbe ďalšieho bloku) prebieha modernizácia tunajších blokov. Touto modernizáciou sa nielen zvýši výkon každého z reaktorov na 500 MW, ale sa aj predĺži životnosť daných blokov až do predpokladaného nástupu prevádzky elektrární III. a IV. generácie. Skupina ČEZ pracuje na projekte Long-Term-Operation EDU, ktorého cieľom je dlhodobá prevádzka elektrárne Dukovany. Hlavnou úlohou projektu je získať licenciu na prevádzku blokov jadrovej elektrárne Dukovany aj po roku 2015 a pripraviť bloky EDU na prevádzku v dlhšom časovom horizonte, a tak naplniť víziu prevádzkovať elektráreň až do obdobia 2035 až 2045. Pracovníci tohto projektu analyzujú všetky možné riziká súvisiace s bezpečnosťou a dbajú na to, aby boli splnené všetky požiadavky Štátneho úradu pre jadrovú bezpečnosť, ktorý vydáva povolenie na predĺženie prevádzky. [14], [33]

## **5. Súčasná legislatíva**

### **5.1. Legislatíva v ČR**

#### **5.1.1. Energetický zákon**

Energetický zákon č. 458/2000 Sb. je základný zákon pre funkčnú liberalizáciu na trhu s elektrinou. Táto norma hovorí o podmienkach podnikania a o výkone štátnej správy v energetických odvetviach. Je doplnený množstvom vyhlášok. Na základe tohto zákona vznikol 1.1.2001 Energetický regulačný úrad, ktorý má sídlo v Jihlave. Predsedu vymenováva prezident na 6 rokov. ERÚ reguluje ceny, chráni záujmy zákazníkov, spotrebiteľov a držiteľov licencií. Tiež im ale určuje povinnosti, ktoré vyplývajú z energetického zákona. Ďalej vyšetruje súťažné podmienky, podporuje hospodársku súťaž a vykonáva dohľad nad trhmi v energetických sektoroch. Úlohou úradu je podporovať kombinovanú výrobu tepla a elektrickej energie a obnoviteľné zdroje energie. [18], [19]

#### **5.1.2. Štátny úrad pre jadrovú bezpečnosť a atómový zákon**

Štátny úrad pre jadrovú bezpečnosť je dôležitým orgánom štátnej správy, ktorého náplňou je dozor nad využívaním jadrovej energie a ionizujúceho žiarenia, ďalej dozor v oblasti radiačnej ochrany a v oblasti jadrovej, chemickej a biologickej ochrany. Má predsedu menovaného vládou ČR a samostatný rozpočet, ktorý je podriadený tiež vládou ČR. Zákony číslo 18/1997 Sb, číslo 19/1997 Sb. a zákon číslo 281/2002 Sb. vymedzujú oblasti jeho pôsobnosti. Podľa zamerania jednotlivých činností sa tento úrad delí na 3 úseky:

- úsek jadrovej bezpečnosti,
- úsek radiačnej ochrany,
- úsek riadenia a technickej podpory. [20]

Atómový zákon, schválený 1.7.1997, číslo 18/1997 Sb. je základný legislatívny dokument, ktorý kladie požiadavky na mierové využívanie jadrovej energie a ionizujúceho žiarenia v Českej republike. V tomto zákone sú obsiahnuté všetky činnosti využívajúce jadrovú energiu a činnosti, pri ktorých vzniká ožiarenie, ktoré sa môžu vykonávať v Českej republike a aj podmienky na získanie licencií pre dané činnosti. Toto povolenie je vydávané Štátnym úradom pre jadrovú bezpečnosť. [21]

Atómový zákon určuje:

- „pôsobnosť ŠÚJB,
- všeobecné podmienky pre využívanie jadrovej energie a ionizujúceho žiarenia,

- činnosti, ktoré je možno vykonávať len na základe povolenia ŠÚJB,
- podmienky pre získanie povolenia,
- povinnosti držiteľa licencie a povinnosti pri nakladaní s rádioaktívnymi odpadmi,
- reštrikčné opatrenia v prípade porušenia Atómového zákona.“ [24]

Tento zákon je rozšírený o predpisy, ktoré stanovujú podrobnosti k prevádzke jednotlivých činností majúcich účinkov na jadrovú bezpečnosť alebo s ňou súvisia. [21]

„Zákon č. 19/1997 Sb. z dňa 24.1.1997 hovorí o niektorých opatreniach súvisiacich so zákazom chemických zbraní a o zmene a doplnení zákona č. 50/1976 Sb., o územnom plánovaní a stavebnom poriadku (stavebný zákon), v znení neskorších predpisov, zákona č. 455/1991Sb., o živnostenskom podnikaní (živnostenský zákon), v znení neskorších predpisov a zákona č. 140/1961 Sb., trestný zákon, v znení neskorších predpisov.“ [22]

„Zákon č. 281/2002 Sb. z dňa 30. Mája 2002 o niektorých opatreniach súvisiacich so zákazom bakteriologických (biologických) a toxínových zbraní a o zmene živnostenského zákona.“ [23]

### 5.1.3. Právny rámec výstavby jadrových elektrární

Výstavba jadrovej elektrárne je pre každý štát veľmi zložitý proces, ktorý sprevádzajú zdĺhavé konania, ktoré je nutné vykonať pred začatím samotnej výstavby. Výstavbou sa zaujímajú rôzne ministerstvá, úrady štátnej správy a samosprávne celky. Väčšinou od myšlienky postaviť jadrovú elektrárňu k jej trvalej prevádzke ubehne dlhá doba, v priemere okolo 14 rokov. Najskôr sa musí vypracovať aktuálna energetická koncepcia štátu, ktorá musí obsahovať vecné zdôvodnenie. Nasleduje verejná diskusia a rozhodnutie o výstavbe má byť potvrdené parlamentom. Potom sa vypracuje projektová štúdia. Schvaľovania na domácej i medzinárodnej úrovni trvajú zhruba 2,5 roka, po ktorých sa uskutoční výberové konanie a podpíše sa kontrakt. Vytvorí sa konzorcium dodávateľov a subdodávateľov a povolí sa výstavba. Ukončenie výstavby je asi po 13 rokoch od plánu postaviť jadrovú elektrárňu. Po rôznych skúšobných prevádzkach sa môže začať trvalá prevádzka jadrovej elektrárne.

<b>Vypracovanie aktualizovanej energetickej koncepcie SR, vecné zdôvodnenie</b>	<b>1 rok</b>
<b>Verejná diskusia a Rozhodnutie o výstavbe</b> (najlepšie potvrdené parlamentom SR)	<b>2 roky</b>
<b>Projektová štúdia (feasibility study)</b>	<b>2.5 roka</b>
<b>Schvaľovania na domácej i medzinárodnej úrovni</b>	<b>5 roky</b>
<b>Podpis kontraktu, výberové konanie</b>	<b>5.5 roka</b>
<b>Vytvorenie konzorcia dodávateľov a subdodávateľov, povolenie k výstavbe</b>	<b>8 rokov</b>
<b>Ukončenie výstavby</b>	<b>13 rokov</b>
<b>Trvalá prevádzka</b>	<b>14 rokov</b>

Obr. 15: časový horizont procesu výstavby JE [10]

Podľa stavebného zákona číslo 50/1976 Sb. sa v Českej republike pripravujú, realizujú a užívajú stavby. Je to zákon o územnom plánovaní a stavebnom poriadku, doplnený vyhláškou číslo 85/1976 Sb., v ktorej sa píše o podrobnejšej úprave územného riadenia a stavebného poriadku v zmysle neskorších zmien a doplnení. Schvaľovací proces má tri fázy na základe legislatívy. Každá fáza je zakončená vydaním definovaného povolenia. Je to :

- územné rozhodnutie – súhlas na umiestnenie stavby v danej lokalite,
- stavebné povolenie – súhlas so zahájením stavebných prác,
- kolaudačné rozhodnutie – súhlas užívať stavbu pre daný účel.

Vyhláška číslo 85/1976 Sb. upresní, čo musí obsahovať žiadosť o jednotlivé povolenia, akú dokumentáciu a doklady musí žiadateľ doložiť ku žiadosti. Zákon ďalej určuje, že keď sa riadenie dotýka záujmu chránených zvláštnymi predpismi, tak stavebný úrad rozhodne len po dohode s dotknutým orgánom štátnej správy. Ak sa stavebný úrad rozhoduje o troch bodoch schvaľovacieho procesu v prípade jadrového zariadenia, tak podľa stavebného zákona potrebuje súhlas Štátneho úradu pre jadrovú bezpečnosť. Tento úrad rozhoduje nezávisle na stavebnom úrade a potvrdí súhlas stavebnému úradu až po zvážení dokumentácie, ktorá analyzuje jadrovú bezpečnosť. Dokumentáciu vypracováva zodpovedná organizácia v každom z troch stupňov procesu. Bezpečnostná dokumentácia má potvrdiť, že jadrové zariadenie je naprojektované a realizované v súlade s platnými zákonmi týkajúcimi sa tejto problematiky. Podmienky na získanie licencie prevádzky jadrového zariadenia sa nachádzajú ako bolo už spomenuté v atómovom zákone. [10], [25], [26]

## 5.2. Legislatíva EÚ

Z dôvodu, že Česká republika je členom EÚ a mnohé nariadenia EÚ v oblasti legislatívy ovplyvňujú výrazne jej členov, som sa rozhodol uviesť aj stručný pohľad na legislatívu EÚ ako celku. Zamerám sa prednostne na jadrovú problematiku. Jadrová bezpečnosť je pre EÚ prioritou a je prvým významným regionálnym aktérom so záväzným právnym rámcom v oblasti jadrovej bezpečnosti. Po nehode vo Fukušime sa niektoré pravidlá sprísňovali a bolo nariadené vykonanie stress testov všetkých jadrových zdrojov v členských štátoch EÚ. Stress testy sú vlastne záťažové testy pre elektrárne. [15]

### 5.2.1. Spolupráca v oblasti energetiky a energetická politika EÚ

Tým, že počet členov v EÚ stále rastie, mení sa aj legislatíva. Vyvíja sa hlavne v oblasti integrácie energetických trhov a v oblasti liberalizácie trhu s elektrickou energiou a plynom. Medzi významnú tému patrí tiež jadrová energetika a otázky s ňou súvisiace. Platná legislatíva EÚ sa opiera o Energetickú chartu. Dohody tejto charty vznikli z potreby európskej spolupráce v oblasti energetiky.

„Hlavným cieľom Dohody k Energetickej charte je posilniť právny rámec v energetických otázkach vytvorením priestoru pre uplatňovanie pravidiel pre všetky zúčastnené štáty. Nastane tak minimalizácia rizík spojených s investovaním a obchodom, ktoré sa vzťahujú k energetike. Ustanovené Dohody k Energetickej charte sa zameriavajú na päť oblastí. Sú to:

- ochrana a podpora zahraničných energetických investícií založená na rozšírenom národnom zaobchádzaní alebo na zaobchádzaní s národom požívajúcim najvyššie výhody,
- voľný obchod s energetickými materiálmi, produktmi a zariadeniami vzťahujúcimi sa k energetike, založený na World trade organisation,
- sloboda tranzitu energií dopravovaných potrubiami a sieťami,
- znižovanie vplyvu energetického cyklu na životné prostredie zlepšovaním energetickej účinnosti,
- mechanizmus pre riešenie sporov medzi štátmi alebo medzi investorom a štátom.“ [27]

Biela kniha o energetickej politike pre EÚ je dokument, z ktorého sa vychádza pri súčasnej situácii v energetike. Sú v nej zadefinované tri hlavné požiadavky a ciele, ktoré by sa mali v budúcnosti naplňovať. A to posilňovanie konkurencie v oblasti výroby elektriny, zvyšovanie bezpečnosti výroby a ochrana životného prostredia. EÚ by chcela tiež znížiť svoju závislosť na dovoze energie, tým že finančne dotuje výskum na efektívnejšie využívanie vlastných zdrojov.

Implementácia legislatívy EÚ začala už v roku 1993, ale až 12. decembra 2001 Česká republika po rokovaní vyhlásila, že je schopná plniť požiadavky energetickej politiky EÚ. Základný energetický zákon č. 458 z 28. novembra 2000 uplatňoval Smernice 96/92/ES a 98/30/ES v oblasti spoločných pravidiel pre vnútorný obchod s elektrinou a zemným plynom. Tým, že sa schválili Smernice 2003/54/ES a 2003/55/ES Európskeho parlamentu a rady z roku 2003, ktorými sa rušia staré Smernice 96/92/ES a 98/30/ES v tejto oblasti, musela aj Česká republika pripraviť novelu energetického zákona. [27], [28]

### 5.2.2. Problematika jadrových odpadov v EÚ

Európska únia tiež dbá nato, ako jednotlivé štáty zaobchádzajú s jadrovým odpadom. Európska komisia legislatívne zvyšuje kontrolu rádioaktívnych zdrojov a prevenciu pri možných nehodách a informuje členské štáty EÚ o spomenutých rádioaktívnych odpadoch. Komisia ale musela zmeniť novú jadrovú legislatívu, ktorú sa nepodarilo schváliť. Tá obsahovala napríklad, že štáty mali zaistiť uskladnenie jadrového paliva do roku 2018 tak, aby nebola ohrozená bezpečnosť ľudí. Ďalej štáty mali mať vytvorené fondy na údržbu odstavených jadrových elektrární a tiež EÚ chcela sama kontrolovať bezpečnosť prevádzky elektrární. A tak jadrová bezpečnosť zostáva aj ďalej v kompetencii každého štátu. Členské štáty ale musia zasielať komisii správu o svojich jadrových zdrojoch a skladoch jadrového paliva a musia nájsť potrebné financie na odstavené elektrárne. Komisia však bola veľmi ústretová, keďže nenariadila žiadne povinné čísla ani dátumy. V prípade

zistenia chyby na niektorom skladišti alebo v jadrovom zariadení však neváha EÚ vynaložiť plné úsilie chrániť zdravie a život ľudí. Ako príklad môže slúžiť disciplinárne konanie proti Veľkej Británii z dôvodu skladu s použitým palivom. [29]

### 5.2.3. Euratom

Už v začiatkoch budovania Európy vznikali inštitúcie zamerané na jadrovú energetiku a uhoľný priemysel. Európske spoločenstvo pre atómovú energiu (Euratom) vzniklo na základe Rímskych zmlúv, ktoré vstúpili do platnosti 1. januára 1958. Zakladajúcimi členmi boli Francúzsko, Nemecko, Taliansko, Belgicko, Luxembursko a Holandsko. V roku 1967 sa oficiálne stal súčasťou Európskych spoločenstiev a v roku 1993 ako súčasť Európskych spoločenstiev tiež prvého piliera Európskej únie. Od nadobudnutia platnosti Lisabonskej zmluvy (od 1. decembra 2009) je Euratom formálne opäť samostatnou organizáciou. Euratom však má spoločné inštitúcie a aj niektoré ďalšie orgány s Európskou úniou. Preto často Euratom zaujíma rovnaké stanovisko ako Európska únia.

Hlavnou úlohou Euratomu je: „prispiet’ k zvýšeniu životnej úrovne v členských štátoch a k rozvoju vzťahov s ostatnými krajinami vytvorením podmienok potrebných pre rýchle vybudovanie a rast jadrového priemyslu.“ [30]

Ciele Euratomu sú koordinovanie výskumných aktivít vo sfére jadrovej energie, vytváranie spoločného trhu pre jadrové palivo a dohliadanie na jadrový priemysel v členských krajinách, aby bola zabezpečená ochrana obyvateľov. Práve kvôli bezpečnosti musela aj ČR vstupom do EÚ odovzdať kompetencie na odsúhlasenie všetkých dodávkových zmlúv na urán a jadrové materiály Euratomu a musí mu hlásiť všetky dodávky jadrového materiálu a paliva. A tiež musel Euratom uznať všetky zmluvy, ktoré boli uzavreté pred vstupom ČR do EÚ. [8], [28], [30]

## **6. Trendy a predpoklady pre rozšírenie jadrových elektrární**

### **6.1. Perspektívy rozvoja jadrových elektrární**

Dnes sa z jadra vyrába asi tretina elektriny a 15 % energie spotrebúvanej v Európskej únii. Súčasná situácia je, dalo by sa povedať zlomovým okamihom v tom, či sa svet bude uberať vo výrobe energie cestou jadra alebo nie. Napomohla tomu určite aj jadrová kríza v Japonsku, po ktorej sa predovšetkým európske štáty napr. Nemecko začali odkláňať od tohto druhu energie, alebo mnohé začali váhať s výstavbou ďalších elektrární. Hlavným dôvodom na takéto správanie ako predviedlo napr. Nemecko je hlavne obava z bezpečnosti jadrových elektrární. Preto by sa mali odborníci zamerať na túto oblasť a presvedčiť verejnosť a politikov za oprávnenosť ponechania tohto druhu výroby energie, ale aj za výstavbu nových jadrových zdrojov. Výskum a aj nemalé finančné prostriedky je dnes zameraný na nové bezpečnostné systémy zamerané na zníženie pravdepodobnosti tavenia aktívnej zóny a na prípadné riešenie havárií. Tiež dôležitým ukazovateľom výsledkov výskumu je ekonomika prevádzky, pretože vývoj nových typov reaktorov by veľmi nákladný. Cieľom výskumu je teda nájsť zopár typov najvhodnejších reaktorov, ktorých by sa postavilo viacero rovnakých blokov, čiže by sa vrátili aj investície vložené do výskumu. Tieto reaktory by ale popritom mali byť aj veľmi bezpečné. [3], [8]

### **6.2. Ekologický predpoklad pre rozšírenie jadrovej energetiky**

Jadrová energia, jeden z najväčších zdrojov energie bez škodlivých emisií oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>), je ako jediná z možných zdrojov schopná nahradiť výpadok elektrickej energie po zredukovaní výroby z fosílnych palív kvôli plneniu Kjótskych záväzkov. Prevádzka jadrovej elektrárne má malý negatívny vplyv na životné prostredie. Produkuje takmer nulové emisie a tým pádom neprispieva k zhoršovaniu skleníkového efektu a celkovo stavu atmosféry. Pre porovnanie s vyrobenou elektrickou energiou z uhlia a nafty slúžia nasledujúce údaje. Výrobou jedného milióna kilowatthodín elektrickej energie z uhlia znečistíme ovzdušie 230 metrickými tonami uhlíka a výrobou takého istého množstva energie z nafty je to uvoľnených 190 metrických ton. Jadrová elektrárňa pri zanedbaní emisií produkovaných činnosťami na výrobu paliva vyprodukuje toto množstvo elektriny v podstate bez emisií uhlíka. Taktiež sa nemiňajú neobnoviteľné zásoby fosílnych palív. Navyše v novom type reaktorov sa použité palivo môže znova použiť. Jediným vážnym problémom pre živú prírodu sú jadrové odpady. Dnešné technológie ale umožňujú bezpečne uchovať aj takýto druh odpadu po mnoho rokov. A v neposlednom rade jadrová elektrárňa šetrí aj úrodnú plochu oproti obnoviteľným zdrojom energie. [8], [9], [10]

„Podľa stanoviska EK k zabezpečeniu zásobovania energiou v Zelenej knihe z roku 2000, musí byť jadro zachované ako súčasť súboru zdrojov, aby bola posilnená energetická bezpečnosť, zvýšila sa energetická nezávislosť a znížili emisie skleníkových plynov.“ [10]

### 6.3. Ekonomický aspekt rozvoja výroby z jadra

Počiatkové náklady na stavbu a vybavenie jadrovej elektrárne sú dosť vysoké, je to však vyvážené malými nákladmi na prevádzku, údržbu. Jadrová energetika dokáže konkurovať aj vodnej v prípade, že využitie jadrovej elektrárne je viac ako 4500 hodín ročne. Hlavná výhoda je v nízkych cenách paliva, ktoré sa neustále mení, zdokonaľuje. Dokonca pri použití prepracovaného vyhoreného MOX paliva sa zvyšuje efektivita. Do celkovej ceny musíme zaradiť aj náklady na likvidáciu odpadu, ale napriek tomu je jadrové palivo veľmi lacné. Navyše tieto ceny sú stabilné v dlhšom časovom období. Preto je stabilná aj cena za elektrinu. Spotreba paliva je však oproti iným druhom zdrojov energie zanedbateľná, čo vidno aj na analýze IAEA. Analýza IAEA zistila, že ak vzrastie cena paliva na dvojnásobok, výrobné náklady jadrovej elektrárne stúpnu o 5%, tepelnej o 42% a paroplynovej až o 58%. V prípade dlhej životnosti elektrárne sa zvýraznia aj jej ekonomické výhody. Do výstavby jadrovej elektrárne sa však moc nehrnú súkromní investori, ktorí väčšinou chcú rýchlejšiu návratnosť kapitálu ako to je v prípade jadrovej elektrárne a tiež ich odrádzajú nižšie ceny elektrickej energie v základnom pásme zaťaženia, v ktorom elektrárne väčšinou pracuje. Investície do oblasti energetiky však všeobecne predstavujú riziko z dôvodu neistôt, ktoré panujú v predpovediach budúcich cien elektriny, štruktúry a podmienok trhu a z dôvodu neustálej zmeny klímy. Jadrová energia rieši problém krajín, ktoré sú chudobné na energetické suroviny napr. Japonsko a tým, že zamestnáva okolo 400 tisíc ľudí len v západoeurópskom jadrovom priemysle, prispieva tiež k riešeniu ekonomicko - sociálneho problému. [8], [9], [11]

### 6.4. Trend v jadrovej energetike

Nastúpený trend v jadrovej energetike očakáva rozsiahlu výstavbu jadrových elektrární. Malo by dôjsť k tzv. renesancii jadra. Celosvetová produkcia elektriny z jadra stále stúpa napr. - z hodnoty 1 901 TWh v roku 1990 na 2 619 TWh v roku 2005. Využívanie jadrovej energie v 21. storočí bude podľa mnohých organizácií nevyhnutné. Napríklad Výskumná iniciatíva Európskeho parlamentu EPRI, Svetová energetická rada WEC, združenie štátov OECD, ale aj dôležité inštitúcie EÚ, Európsky ekonomický a sociálny výbor ESC a výbor pre priemysel, vonkajší obchod, výskum a energiu ITRE výrazne deklarujú svoj súhlas s využívaním a výstavbou ďalších jadrových elektrární. Dôležitým faktorom pre budúcnosť jadrovej energie je však už vyššie spomenutá bezpečnosť elektrární a kladný postoj verejnosti. Štáty ako Indonézia, Vietnam, Poľsko, Fínsko plánujú výstavbu prvých jadrových elektrární v krajine. Ďalšie krajiny ako USA, Japonsko, Kórea, Rusko, Čína chcú tiež zvyšovať výkon z jadra. [10], [12]

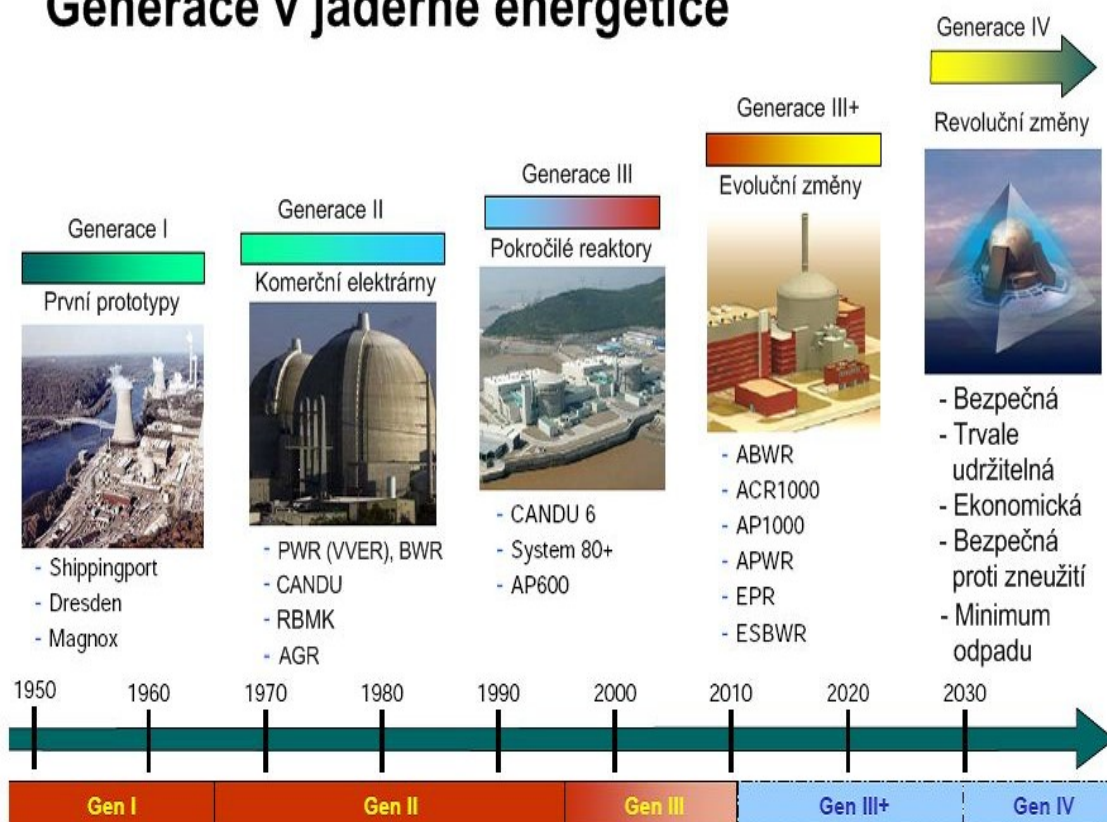
### 6.5. Generácie jadrových reaktorov a najperspektívnejšie typy reaktorov

Reaktory sa podľa obdobia výstavby a prevádzky, ale tiež podľa stupňa technického vývoja a stupňa spoľahlivosti a bezpečnosti delia na štyri generácie:



- generácia I: prototypy komerčných reaktorov z 50. a 60. Rokov, ktoré už dnes nie sú v prevádzke,
- generácia II: patria tu reaktory spustené v sedemdesiatych a osemdesiatych rokoch minulého storočia. Sú stále súčasťou veľkých komerčných elektrární a tvoria základ dnešnej jadrovej energetiky aj napriek tomu, že sú postupne odstavované,
- generácia III: sú často označované ako pokročilé reaktory, pretože ich koncepcia obsahuje veľa nových bezpečnostných prvkov. Do prevádzky boli spúšťané od 90. rokov minulého storočia,
- generácia IV: reaktory, s ktorými sa pre komerčné účely počíta od roku 2030, keď životnosť mnohých reaktorov, ktoré sú v súčasnosti v prevádzke bude končiť. Je možné, že rok ich nástupu sa ešte odloží o pár desaťročí. Ich koncepcia bude obsahovať mnoho zmien. Jedná sa napríklad o uzavretý palivový cyklus, miesto vody sa budú na chladenie používať látky, ktoré umožnia prevádzku pri vyššej teplote a tým pádom sa zvýši aj účinnosť. [14]

## Generace v jaderné energetice



Obr. 16: Vývoj jadrových reaktorov [13]

### 6.5.1. Reaktory III. a III+. generácie

Reaktory, ktoré vychádzajú zo spoľahlivých, úspešných súčasných jadrových blokov a navyše obsahujú evolučné zmeny, ktoré zabezpečujú zvýšenie bezpečnosti a zlepšenie ekonomiky prevádzky. Medzi zmeny patria vyššia účinnosť, vyššie vyhorenie paliva a dlhšia doba medzi odstávkami. Patria tu tlakovodné alebo varné reaktory navrhnuté na prelome tisícročí a v súčasnej dobe realizované. Sú to napríklad reaktory typu ABWR 1450 vo východnej Ázii a v Japonsku. V USA je to reaktor AP-600 od Westinghouse Company. V Európe je zástupcom tejto generácie Európsky tlakovodný reaktor EPR. Európsky tlakovodný reaktor - EPR je vlastne zdokonalením reaktora PWR, v ktorom boli použité najnovšie riešenia pre maximálnu bezpečnosť. V roku 1997 bol skončený jeho vývoj a momentálne je stavaný vo Fínsku a Francúzsku. [3], [14]

Reaktory III+. generácie sú prezentované ako reaktory s výraznými vylepšeniami. Majú zvýšenú pasívnu bezpečnosť (dvojitá obálka, prirodzené chladenie, vyššie zaistenie odvodu tepla z reaktoru), dlhšiu životnosť (60 rokov), vyšší koeficient využitia výkonu, dlhšiu kampaň a mnohé ďalšie zlepšenia. Sú to v dnešnej dobe všetky bloky ponúkané na výstavbu. Sice je už zopár projektov týchto pokročilých reaktorov schválených a certifikovaných, tak kvôli časovému sklzu spôsobenom licenčným riadením neexistuje v prevádzke žiadna referenčná elektrárňa, ktorá by mala ponúkané parametre. Práve na prevádzku referenčnej elektrárne čaká veľa záujemcov. Reaktory tejto generácie by mali zabezpečiť výrobu energie v období od dvadsiatych a tridsiatych rokov tohto storočia do predpokladaného začiatku výstavby a spustenia prevádzky reaktorov generácie IV. Patria tu tlakovodné reaktory AP 1000 od firmy Westinghouse, EPR firmy AREVA a MIR 1200 konzorcia Škoda Jadrové strojárstvo s Atomstrojexportom. Ďalej reaktory s guľčkovým keramickým palivom, ktorých výstavbu plánuje Čína. Môžeme tu zaradiť ešte americký Iris firmy Westinghouse, ABWR a ESBWR od GE Energy a tiež európsky SWR 1000. Do roku 2030 bude každý jeden postavený reaktor niektorého vyššie spomenutého typu. [14]

### 6.5.2. General IV International Forum (GIF)

Ministerstvo energetiky USA dalo podnet k zahájeniu programu GIF s odôvodnením na rastúce ceny elektriny, na potrebu znížiť emisie skleníkových plynov a tak zabrániť vplyvu globálneho otepľovania, na neustále zvyšovanie svetovej spotreby elektrickej energie a problémy s alternatívnymi zdrojmi. GIF sa zaoberá dlhodobým, perspektívnym výskumom vo sfére jadrovej energetiky. Snaží sa vychádzať z päťdesiatročných skúseností s jadrom a trpezlivo posudzovať doterajšie úspechy, ale aj problémy a nedostatky. Veľmi náročnou úlohou je odstránenie doterajších nevýhod v maximálnej možnej miere, tak aby jadrová energetika bolo súčasne aj ekonomicky konkurencieschopná. Cieľom projektu GIF je nájsť vhodných kandidátov pre reaktorové systémy IV. generácie. Posudzuje ich podľa troch kritérií: Mali by slúžiť ako základ pre posúdenie a porovnanie jednotlivých systémov v technologickej správe. Kritériom sú aj výzvy a stimuly k nájdeniu inovačných systémov buď pre palivový cyklus, alebo technológiu reaktoru. Tretím porovnávacím znakom je motivácia k spoločnému snaženiu vo výskume a vývoji. Ciele

pre jadrové systémy štvrtej generácie môžeme rozdeliť do štyroch oblastí: dlhodobá udržateľnosť, ekonomickosť, bezpečnosť a spoľahlivosť, vylúčenie zneužitia jadrového materiálu. Na prvom mieste sa nachádza udržateľnosť, čo znamená schopnosť vyhovieť súčasnej generácii, a pritom neohroziť potreby ďalších generácií. [14]

### 6.5.3. Reaktory IV. generácie

Nové jadrové reaktory GEN IV sú strategickou oblasťou výskumu a vývoja. Tento výskum je koordinovaný Medzinárodným fórom „Generácia IV” (GIF). Medzi členov fóra patrí aj Euratom. Jedná sa o tzv. rýchle reaktory a predpokladaná doba spustenia týchto reaktorov do bežnej komerčnej prevádzky sa očakáva v roku 2030. Ciele GEN IV sú ako som vyššie spomenul maximálna bezpečnosť, minimalizácia rádioaktívnych odpadov, zníženie kapitálu na výstavbu a prevádzku jadrových elektrární a zabránenie zneužívania jadrových zbraní. Medzi výhody patrí zvýšenie efektívnosti výroby (100 až 300-krát), využitie tóriového a MOX paliva v uzavretom palivovom cykle. Medzi devízy tiež určite patrí nižšia doba rozpadu odpadu. Spomenutý uzavretý cyklus týchto reaktorov budúcnosti funguje na princípe recyklovania vyhoreného jadrového odpadu a následného použitia takto spracovaného vyhoreného paliva ako energetického zdroju na ďalšiu prevádzku rýchlych reaktorov. GIF sa zamerala na 6 vybraných typov reaktorov pre nasadenie po roku 2020. Zameriava sa hlavne na typy, ktoré vďaka vysokým teplotám budú vyrábať okrem elektriny aj vodík, ktorý môžeme pokojne označiť ako veľmi perspektívne palivo budúcnosti. Tiež sú logicky uprednostňované jadrové bloky s vysokou účinnosťou. [14], [15]

Jednotlivé reaktorové systémy podľa rozdelenia GIF sú:

- plynom chladený rýchly reaktorový systém - GFR,
- olovom chladený rýchly reaktorový systém - LFR,
- reaktorový systém s roztaveným soľami - MSR,
- sodíkom chladený rýchly reaktorový systém - SFR,
- superkritický vodou chladený reaktorový systém - SCWR,
- vysokoteplotný reaktorový systém - VHTR.

Až budúcnosť ukáže, ktorý z týchto jadrových systémov sa stane kľúčovým v jadrovej energetike. Nepochybne každý z nich má svoje výhody a preto už dnes môžeme badať medzi záujemcami rôznu mieru záujmu o jednotlivé reaktorové systémy. Predbežne je najväčší záujem o GFR, SCWR a VHTR. Aj jednotlivé krajiny majú svojich favoritov, napr. USA, Francúzsko, Kórea - GFR, USA, Rusko - LFR, USA, Japonsko - SCWR. Najviac preskúmané sú typy SFR a VHTR, ktorých demonštračné elektrárne by sa mohli spustiť okolo roku 2020. [14]

## 7. Energetické zdroje budúcnosti

Už dnes sa musíme zaoberať otázkou nových zdrojov energie pre budúce generácie. Zásoby uránu nie sú nevyčerpatel'né a to aj keď sa zvýši výťažnosť energie z paliva v rýchlych množivých reaktoroch. Problém vyčerpatel'nosti palív nie je jediný, ktorý trápi ľudstvo. Ďalším závažným problémom je kvalita procesu výroby energie, teda cesty od ťažby až po likvidáciu odpadov. Pre energetikov teda nastáva povinnosť riešiť nasledujúce úlohy:

- hľadanie nových zdrojov a zefektívnenie súčasnej výroby energie,
- eliminácia nebezpečia zamorenia Zeme palivovými odpadmi,
- zvýšenie bezpečnosti prevádzky elektrární na najvyššiu možnú mieru.

Jadrové zdroje, ktoré riešia uvedené problémy a o ktorých sa uvažuje ako o zdrojoch tisícročia sú:

- termonukleárne reaktory,
- termonukleárne hybridné reaktory,
- podkritické reaktory .

### 7.1. Termonukleárne reaktory

Zlučovanie veľmi ľahkých jadier v jadrá ťažšie v termonukleárnych reaktoroch sa zdá ako jedna z reálnych variant získavania jadrovej energie. Touto reakciou a jej realizáciou sa zaoberajú vedecké tímy už polstoročie. Spontánny druh tejto termonukleárnej reakcie prebieha v hviezdach a je zdrojom ich tepelnej energie. Na zemi sa dosiaľ podarilo uskutočniť len jej neriadenú explozívnu formu. Riadenú termonukleárnu syntézu sa napriek optimistickým víziám nepodarilo uskutočniť. Hlavným problémom, ktorý tomu zabraňuje sú odpudivé elektrostatické sily medzi jadrami atómu. Poznáme viacero spôsobov ako vytvoriť veľký energetický vklad a naštartovať termonukleárnu reakciu, čiže prekonať tieto odpudivé sily. V súčasnosti sú skúmané spôsoby:

- zvýšenie energie jadier vysokou teplotou prostredia za súčasného zvýšenia ich hustoty,
- zvýšenie energie jadier nárazmi energetických kvánt alebo urýchlených častíc,
- zmenšenie priemeru atómu a tak dosiahnutie menšej vzdialenosti medzi jadrami a menšieho základného vkladu energie nutného pre vznik reakcie.

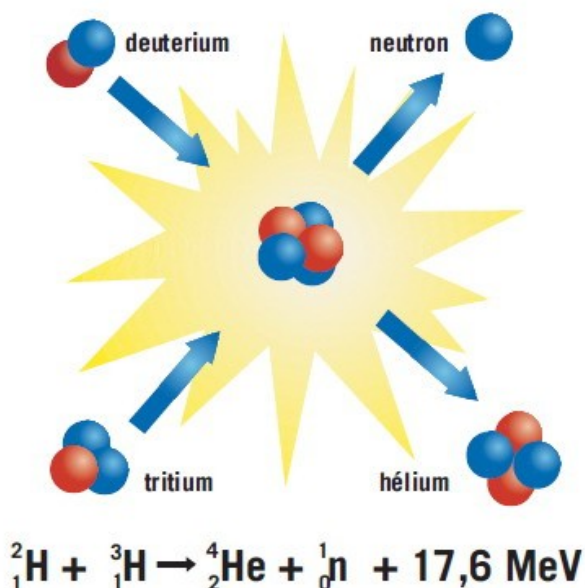
Zatiaľ je odborníkmi najlepšie rozpracovaný prvý spôsob a predpokladá sa, že reaktory tohto typu sa budú využívať na výrobu energie na konci tridsiatych rokov 21. storočia. V súčasnosti ale neexistuje žiadny materiál, ktorý by sa pri takých vysokých teplotách nevyparil a z ktorého by bolo možné vyrobiť nádobu na horúcu plazmu. Ako reálna cesta k vyriešeniu tohto problému je

magnetické udržanie plazmy pomocou veľmi silného magnetického poľa a zabránenie dotyku so stenou nádoby. Takto funguje napr. zariadenie tokamak vyvinuté v 50. rokoch v Sovietskom zväze. [14], [38]

Z hľadiska počiatočného vkladu sa zdá byť najľahšie realizovateľné zlučovanie jadier izotopov vodíka - trítia a deutéria na hélium, vid'. obrázok 15. Z jednej reakcie vznikne 17,6 MeV. Problémom je relatívne krátky polčas rozpadu trítia (12 rokov) a kvôli tomu sa v prírode nevyskytuje. Preto sa musí vyrábať umelo a je tiež jedovaté a slabo rádioaktívne. Pre prvú vsádzku ho môžeme vyrobiť v štiepnych reaktoroch rôznymi reakciami.



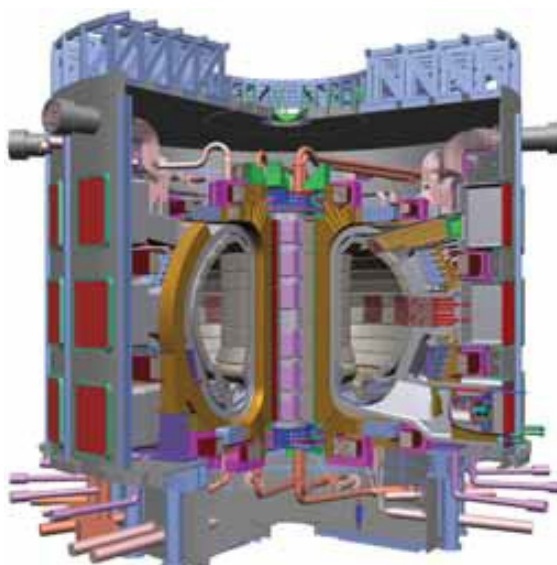
Vyrobiť ďalšie trítium sa bude dať pravdepodobne v množivej zóne termojadrového reaktoru tými istými reakciami. V druhej etape termojadrových reaktorov bude vraj možné a aj ekonomicky výhodnejšie zlučovanie samotného deutéria, prípadne bóru a hélia. V litri voda sa nachádza v priemere 0,21 promile deutéria. Teoretická vyťaženosť energie z litra vody pri možnom zlučovaní deuterónov sa bude približne rovnáť energii získanej z jednej tony uhlia.



Obr. 17: Zlučovanie deutéria a trítia [16]

Termonukleárna reakcia vyžaduje určité požiadavky, pri ktorých môže prebiehať. Energie musia byť rádovo 0,01 MeV, čo odpovedá teplote prostredia 108K. Musí byť splnené Lawsonovo kritérium, ktoré stanovuje podmienky pre udržanie samovoľnej reťazovej syntézy. Stanovuje určité hodnoty teploty, hustoty, plazmy a času, počas ktorého sa táto hustota udrží. Čiastkové podmienky sa dajú v súčasnosti splniť, ale ako celok ich splniť zatiaľ nedokážeme.

Medzinárodný experimentálny termojadrový reaktor ITER sa stavia momentálne s väčším ako desaťročným meškaním na juhu Francúzska. Výkon reaktoru má byť 500 MW. Cieľom tohto reaktoru je dosiahnuť ustálenú riadenú reakciu - fúziu deutéria a trítia v plazmovom stave a dokázať tak, že sa dá využiť energia z tejto fúzie. Ak sa to podarí, je reálne postaviť v rokoch 2030 až 2050 demonštračnú elektrárňu. Reaktor ITER bude slúžiť k testovaniu komponentov voči odolnosti v poli silných neutrónových tokov a vysokých teplôt. Musí sa tiež dokázať bezpečnosť fúzie ohľadom na životné prostredie. [14]



Obr. 18: Ilustračný rez experimentálnym termonukleárnym reaktorom [16]

Dá sa tak povedať, že energia z termojadrovej reakcie má obrovskú budúcnosť. Má všetky predpoklady stať sa hlavným zdrojom energie. V jej prospech hovorí:

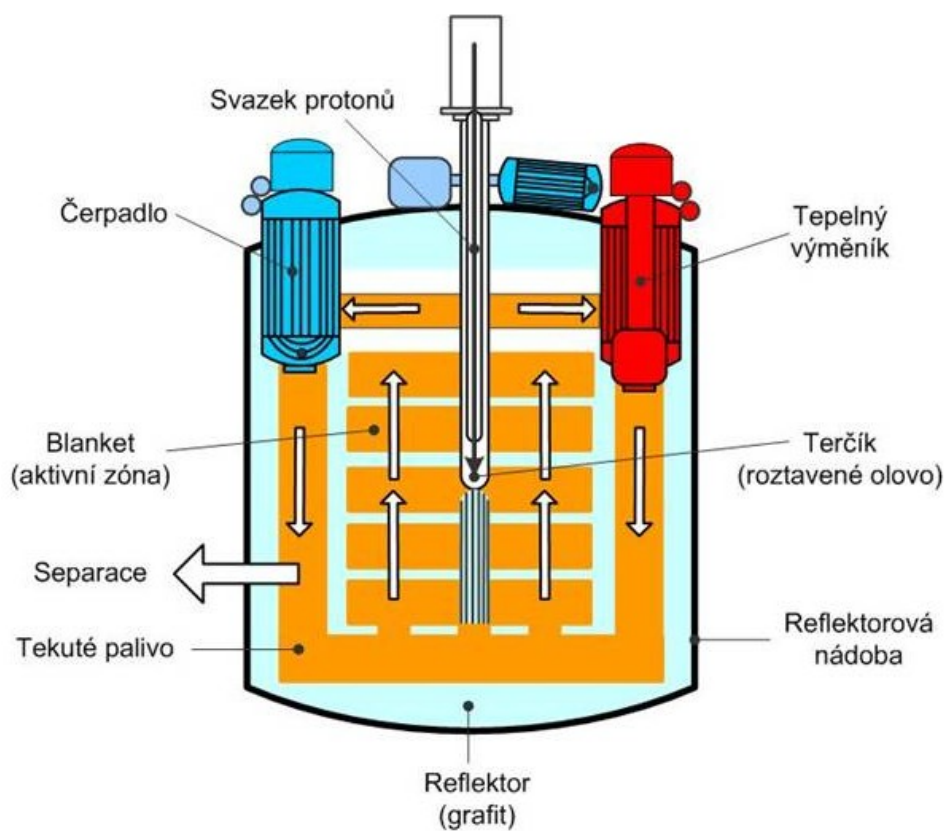
- dostatok surovín - deutérium z vody a trítium vyrobíme z lithia, čo je základná zložka zemskej kôry,
- odpad - odpadom je plyn hélium, ktorý nie je rádioaktívny a nezhoršuje skleníkový efekt, ďalej sú produktom neutróny vyvolávajúce rádioaktivitu materiálov konštrukcie reaktora, ale to vyrieši krátkodobé úložisko po rozobratí reaktora,
- rádioaktivita - nulová rádioaktivita počas prevádzky okrem malého množstva rádioaktívneho trítia pred zapálením reakcie,
- bezpečnosť - vojensky sa nedá zneužiť a je bezpečná, lebo niekoľko gramov termojadrového paliva prítomných v reaktore nevybuchne a pri kontakte so stenou reaktora sa horiaca plazma ochladí a vyhasne. [16]

## 7.2. Hybridné reaktory

Tento typ reaktorov spája oba základné typy jadrových reakcií – štiepenie aj syntézu. Tieto reakcie majú však rôzny podiel na výrobe energie. Koncepcia spočíva vo využití silného toku neutrónov vznikajúceho pri termojadrovej reakcii k spusteniu štiepnej reakcie a k výrobe sekundárneho štiepneho materiálu. Nadprodukcia neutrónov termojadrového reaktoru (na jednotku výkonu 4 krát viac uvoľnených neutrónov ako u štiepneho) komplikuje jeho konštrukciu. Preto časť odborníkov uprednostňuje ako prvý reaktor s jadrovou fúziou reaktor hybridný. Medzi výhody patrí tiež, že štiepna časť môže pracovať v podkritickom režime a vyprodukuje až 5 krát viac sekundárneho štiepneho paliva na jednotku výkonu ako rýchle reaktory. Predbežné návrhy uvažujú aj s výrobou paliva - tritia pre vlastnú termojadrovú prevádzku a tiež so zariadeniami, ktoré by likvidovali vysoko aktívne produkty štiepnej reakcie. Predpokladá sa bezpečnosť týchto typov reaktorov na vysokej úrovni a aj nízka produkcia aktívnych odpadov. Nevýhodou je ich vysoká cena a technická zložitosť. Prevádzka hybridných reaktorov by sa však mala po čase stať efektívnou z dôvodu veľkej reprodukcie paliva a sériovej výroby. [14]

## 7.3. Podkritické reaktory

V aktívnej zóne tohto typu reaktora nemôže nastať rozvoj štiepnej reakcie. V podkritickom stave musí byť multiplikačný súčiniteľ neutrónov menší ako jedna. Aby bola splnená táto podmienka a zároveň, aby reaktor pracoval a nezanikla reakcia v ňom prebiehajúca, musí byť prítomný vonkajší zdroj neutrónov, alebo zdroj vnútorný excitovateľný vonkajšími podnetmi. Podkritické reaktory sa tým, že nie je možný rozvoj reťazovej reakcie stávajú absolútne bezpečnými. Klasickým elektrárnám sa podobajú tým, že tiež tu musíme dodávať zdroje z vonku. Kvôli zložitosti externého zdroja skôr v návrhoch prevláda vnútorný zdroj - terčik v reaktore, ktorý je ostreľovaný protónmi z urýchľovača, ktorý je umiestnený mimo reaktor. Terčik, ktorý je priamo z množivého materiálu (prírodný alebo ochudobnený urán, thorium), alebo z kovu (Pb, Pb + Bi), generuje po interakcii s protónom neutróny potrebné pre ďalšie reakcie. Dochádza k tzv. roztriešteniu jadra. Veľký počet uvoľnených neutrónov môžeme využiť k vyvolaniu štiepnej reakcie, k výrobe nového paliva a k likvidácii jadrových odpadov. Likvidácia je vlastne premena izotopov s dlhým polčasom rozpadu na izotopy, ktoré sa rozpadajú rýchlejšie alebo na neaktívne izotopy. Takéto typy sa nazývajú transmutory, alebo urýchľovačom riadené transmutačné technológie so skratkou ADDT. Reaktory ADTT môžeme rozdeliť do troch základných častí: vonkajší neutrónový zdroj, blanket, čo je vlastne aktívna zóna so zariadeniami ako výmenník tepla, čerpadlá a tretia časť slúži pre prepracovanie - príprava paliva, jeho separácia.



Obr. 19: Podkritický reaktor ADTT [17]

Dlho bol veľký problém dodať časticiam takú energiu, aby mohla byť uskutočnená trieštivá reakcia. Dnes existujú urýchľovače, ktoré dodávajú protónom energiu aj niekoľko GeV. A tak po doriešení otázky vhodných výkonových urýchľovačov, priebežnej separácie krátkodobých a stabilných izotopov, materiálov na konštrukciu bude len otázkou financií, kedy budú spustené prvé reaktory ADTT. [14], [17]



## 8. Záver

Dnešná spoločnosť potrebuje energiu na takpovediac všetky bežné vykonávané činnosti. Neustále rastúci počet obyvateľov, ale aj ekonomický rozvoj sú faktory, ktoré naznačujú v budúcnosti stály rast spotreby elektrickej energie. Preto nastáva otázka, ako pokryť možný nedostatok energie v budúcnosti po vyčerpaní fosílnych zdrojov a udržať tak rozvoj na Zemi. V dnešnej dobe sa rieši otázka možných zdrojov, na ktoré sú však kladené prísne ekologické, bezpečnostné a ekonomické požiadavky, a preto je stále neistota v otázke najlepšieho primárneho zdroja pre budúcnosť. V súčasnosti by sa však hlavne mala zefektívniť výroba súčasných zdrojov a tiež účinnosť prenosu energie.

Kľúč k vyriešeniu tejto otázky by mohla poskytnúť jadrová energia. Ani táto varianta však nie je ideálna z pohľadu všetkých kritérií. Už idealisti v minulom storočí dúfali, že energia z jadra poskytne v budúcnosti lacný, bezpečný a spoľahlivý zdroj energie. Možno nebyť jadrových havárií v Černobyle a neskôr vo Fukušime, zaujímala by jadrová energetika dnes úplne iné postavenie a hlavne by bola akceptovateľná širokou verejnosťou, čo dnes určite nie je. Britský týždenník *The Economist* napísal v marci roku 2012, že jadrová energia je sen, ktorý sa nenaplnil. [36] Napriek tomu však niektoré štáty stále počítajú s jadrovou energiou, poprípade plánujú rozšírenie výroby energie z jadra. Medzi takéto štáty patrí aj Česká republika.

Po preštudovaní všetkých materiálov si však myslím, že je veľmi pravdepodobné, že jadrová inovácia ešte nastane, ale už nemožno rátať s takzvanou globálnou renesanciou jadra. Nebude to však jednoduchý proces. Bude treba zmeniť názor verejnosti, tým že sa rozoberú dôvody príčiny uvedených havárií a odstránia sa jednotlivé nepravdivé mýty. Ďalej bude treba presvedčiť ľudí, že nové moderné elektrárne sú po rôznych vylepšeniach bezpečnejšie a riziko havárie je minimálne. Najnovšia technológia ale pre vytvorenie pocitu bezpečnosti nestačí, treba vytvoriť v krajinách nezávislú reguláciu a sebakritickú kultúru bezpečnosti, pričom prioritou bude hľadanie možných rizík a ich následné odstraňovanie.

Jadrová energia je podľa môjho názoru po splnení vyššie uvedenej otázky bezpečnosti ideálnym zdrojom a aspoň polovica všetkej energie by sa mala vyrábať z jadra a postupne by mala nahradzovať vyčerpané zdroje tuhých, kvapalných a plyných palív. Nahrávajú jej určite problémy s klímou, rastúce ceny fosílnych palív, ich úbytok a tiež mnohé ďalšie nespochybniteľné, všeobecne známe výhody oproti iným zdrojom, ktoré máme dnes k dispozícii. V blízkej budúcnosti sa jadrová energetika bude zameriavať na vývoj reaktorov štvrtej generácie, ktoré by tiež mohli prispieť k obráteniu sociálnej akceptovateľnosti tohto spôsobu výroby z dôvodu kladenia veľkého dôrazu na bezpečnosť prevádzky. Cestou, ktorou by sme sa však mali uberať v budúcnosti je termojadrová fúzia. Tento bezpečný zdroj by eventuálne dokázal pokryť objem energie vyprodukovaný tepelnými aj jadrovými elektrárnami a po prekonaní technických problémov by

mohol byť vyriešený problém nedostatku energie vyrobenej ekologicky, efektívne a hlavne bezpečne po mnoho rokov.

Cieľom tejto práce je teda priblížiť problematiku jadrových elektrární a energie, ale tiež popísať aktuálnu situáciu v danej téme. Ďalším cieľom bolo oboznámiť čitateľa so súčasnou legislatívou, ale tiež som chcel uviesť nové trendy v tejto oblasti, ktoré by sa mali podľa mňa spopularizovať. Dúfam, že čitateľ si po prečítaní urobí svoj názor na túto problematiku a bude u neho prevládať pozitívne stanovisko k jadrovým elektrárnam a pochopí obrovský potenciál a nevyhnutnosť jadrovej energie.

## Literatúra

- [1] SLANSKÁ, Karolína. *Jaderná energetika v učivu fyziky na stredných školách* [online]. 2011 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://homel.vsb.cz/~doc0009/BP-JE.pdf>. Bakalárska práca. UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI. Vedoucí práce Roman Kubínek.
- [2] SKUPINA ČEZ. *Jaderná energetika v číslech* [online]. [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/je-v-cislech-2009.pdf>
- [3] KOLCUN, Michal et al. *Elektrárne*. Košice: TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH, 2006. ISBN 80-8073-704-5.
- [4] BRAUNER, Jiří a Zdeněk ŠINDLER. *Elektrická část elektráren*. Ostrava: VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ V OSTRAVĚ, 1987, 243 s.
- [5] GOŇO, Radomír. SYLABY, ŠTUDIJNÝ MATERIÁL PREDMETU VÝROBA A UŽITÍ ELEKTRICKEJ ENERGIE. Provoz jaderných elektráren. [online]. s. 67 [cit. 2012-04-18]. Dostupné z: [http://feil.vsb.cz/kat410/studium/f\\_studium.htm](http://feil.vsb.cz/kat410/studium/f_studium.htm)
- [6] ENERGIA.SK. Podiel jadra v Česku by sa mal zvýšiť nad 50 %. [online]. 26. apríl 2011 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.energia.sk/clanok/jadrova/podiel-jadra-v-cesku-by-sa-mal-zvysit-nad-50/2993/>
- [7] SKUPINA ČEZ. Energetika ve světě: Výroba elektřiny v Evropě a ve světě. [online]. [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/pro-media/cisla-a-statistiky/energetika-ve-svete.html>
- [8] KOMISIA EURÓPSKÝCH SPOLOČENSTIEV. Oznámenie Komisie Rade a Európskemu parlamentu - Jadrový objasňujúci program predložený podľa článku 40 Zmluvy o Euratome na vyjadrenie stanoviska Európskeho hospodárskeho a sociálneho výboru {SEK(2006) 1717} {SEK(2006) 1718} {SEK(2007) 12} /\* KOM/2006/0844 v konečnom znení \*/. [online]. Brusel, 10.1.2007 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0844:FIN:SK:HTML>
- [9] MIKUŠ, Tibor. SLOVENSKÉ JADROVÉ FÓRUM. Postavenie jadrovej energetiky v slovenskom energetickom systéme. [online]. [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.sjforum.sk/aktivity/prednasky.htm>
- [10] SLUGEN, Vladimír. FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA. Potreby výstavby nových jadrových zdrojov na Slovensku. [online]. 15. 2. 2007 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: [http://www.siea.sk/oldweb/archiv/subory/jb\\_prednasky/14\\_slugen.pdf](http://www.siea.sk/oldweb/archiv/subory/jb_prednasky/14_slugen.pdf)
- [11] MIKUŠ, Tibor. SLOVENSKÉ JADROVÉ FÓRUM. Jadrová energetika. [online]. 25. a 26. februára 2002 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: [www.sjforum.sk/aktivity/sjfmikus.ppt](http://www.sjforum.sk/aktivity/sjfmikus.ppt)

- [12] EU a energetika - EU a stavba jaderné elektrárny. [online]. [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.energetika-eu.cz/eu-stavba-elektren.htm>
- [13] DRÁBOVÁ, Dana. STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. *Člověk, energie a jaderná energetika*. Praha.
- [14] JAROSLAV DOLEŽAL, Jan Špetlík, Stanislav Bouček, Zbyněk Brettschneider, Jiří Šťastný. *Jaderné a klasické elektrárny*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 260 s. ISBN 978-80-01-04936-5. Dostupné z: [http://k315.feld.cvut.cz/CD\\_MPO/CVUT-1-Elektreny.pdf](http://k315.feld.cvut.cz/CD_MPO/CVUT-1-Elektreny.pdf)
- [15] ENERGIA.SK. Stručný přehled: Jadrová energia. [online]. [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.energia.sk/tema/jadrova/strucny-prehľad-jadrova-energia/5244/>
- [16] TRETÍ PÓL. *ITER SLUNCE NA ZEMI*. roč. 2005, Říjen. Dostupné z: <http://3pol.cz/download/ríjen2005.pdf>
- [17] SÝKORA, Tomáš. Využití energie VJP v podkritickém reaktoru. [online]. Fakulta elektrotechnická, katedra elektroenergetiky České vysoké učení technické v Praze [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://chroust.ic.cz/document/reaktor.html>
- [18] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. Informace o Energetickém regulačním úřadu. [online]. [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: [http://www.eru.cz/dias-read\\_article.php?articleId=52](http://www.eru.cz/dias-read_article.php?articleId=52)
- [19] SKUPINA ČEZ. Energetická legislativa. [online]. [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/pro-zakazniky/ke-stazeni/energeticka-legislativa.html>
- [20] STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. Úvod. [online]. [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.sujb.cz/o-sujb/uvod/>
- [21] STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. Legislativa spojená s dozorem nad jadernou bezpečností. [online]. [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/uvod/legislativa-spojena-s-dozorem-nad-jadernou-bezpecnosti/>
- [22] ZÁKON č. 19. *O některých opatřeních souvisejících se zákazem chemických zbraní a o změně a doplnění zákona č. 50/1976 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů, zákona č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání (živnostenský zákon), ve znění pozdějších předpisů, a zákona č. 140/1961 Sb., trestní zákon, ve znění pozdějších předpisů*. 24.1.1997. Dostupné z: [http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/zakony/Z19\\_1997Sb.pdf](http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/zakony/Z19_1997Sb.pdf)
- [23] ZÁKON Č. 281/2002 SB. *O některých opatřeních souvisejících se zákazem bakteriologických (biologických) a toxinových zbraní a o změně živnostenského zákona*. 30.5.2002. Dostupné z: [http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/zakony/Biologicky\\_zakon\\_III.pdf](http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/zakony/Biologicky_zakon_III.pdf)

- [24] HLADKÁ, Renata. SKUPINA ČEZ. *Učební text pro příprav personálu JE: jaderná bezpečnost*. Brno, 2008, 95 s.
- [25] SKUPINA ČEZ. Historie a současnost Elektrárny Temelín. [online]. [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/jaderna-energetika/jaderne-elektřarny-cez/ete/historie-a-soucasnost.html>
- [26] Analýza slabých míst výstavby 3. a 4. bloku jaderné elektrárny Temelín. [online]. [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.vlada.cz/assets/media-centrum/aktualne/Analýza-slabych-mist-vystavby-3-a-4-bloku-jaderne-elektřarny-Temelin.pdf>
- [27] Legislativa EU k energetice. [online]. [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.energetika-eu.cz/eu-legislativa-energetika.htm>
- [28] EU a energetika - Evropská společenství pro atomovou energii, energetická politika EU. [online]. [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.energetika-eu.cz/eu-energie-politika.htm>
- [29] EU a energetika - Nakládání s jaderným odpadem v EU. [online]. [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.energetika-eu.cz/jaderny-odpad-eu.htm>
- [30] Európske spoločenstvo pre atómovú energiu. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: [http://sk.wikipedia.org/wiki/Eur%C3%B3pske\\_spolo%C4%8Denstvo\\_pre\\_at%C3%B3mov%C3%BA\\_energiu](http://sk.wikipedia.org/wiki/Eur%C3%B3pske_spolo%C4%8Denstvo_pre_at%C3%B3mov%C3%BA_energiu)
- [31] Struktura instalovaného výkonu [%]. In: ENERGETICKÝ REGULAČNÝ ÚRAD. [online]. [cit. 2012-04-11]. Dostupné z: [http://eru.cz/user\\_data/files/statistika\\_elektro/rocní\\_zprava/2010/rz/vykon/3.htm](http://eru.cz/user_data/files/statistika_elektro/rocní_zprava/2010/rz/vykon/3.htm)
- [32] DRÁBOVÁ, Dana. STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. *Svět, energie a jádro*. Praha.
- [33] ČEZ, a. s., Divize výroba. *Jaderné elektrárny v roce 2009*. Zbyněk Grunda. 2010.
- [34] JE Dukovany: Bloky JE Dukovany. [online]. [cit. 2012-04-11]. Dostupné z: <http://proatom.luksoft.cz/jaderneelektřarny/dukovany/>
- [35] ŘÍHA, Tomáš. *Jaderná energetika v ČR*. Dostupné z: [http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=16308](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16308). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Jan Fiedler.
- [36] ENERGIA.SK. The Economist: Jadrová energia je sen, ktorý sa nenaplnil. [online]. 12. marec 2012[cit. 2012-04-18]. Dostupné z: <http://www.energia.sk/clanok/jadrova/the-economist-jadrova-energia-je-sen-ktory-sa-nenaplnil/6330/>
- [37] Namiesto úvodu. [online]. [cit. 2012-04-18]. Dostupné z: [http://www.nuc.elf.stuba.sk/lit/PGS/Pgs\\_intro.htm](http://www.nuc.elf.stuba.sk/lit/PGS/Pgs_intro.htm)

- 
- [38] SKUPINA ČEZ. *ČEZ news: časopis zamestnancov skupiny ČEZ*[online]. roč. 2009, Január [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/pro-media/casopis-cez-news/17.html>
- [39] Příručka pro ochranu obyvatel při radiační havárii jaderné elektrárny Dukovany. [online]. s. 11 [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <http://www.namestnosl.cz/storage/jedu-prirucka.pdf>

**Zoznam príloh**

- I      Príloha č. 1. - Základné pojmy z jadrovej fyziky
- III     Príloha č. 2. - Základné pojmy u jadrových reaktorov
- IV     Príloha č. 3. - Medzinárodné označovanie typov jadrových energetických reaktorov

## Príloha č. 1. - Základné pojmy z jadrovej fyziky

„**Atóm** - častica skladajúca sa z kladne nabitého jadra a záporne nabitých elektrónov, ktoré obiehajú okolo, takže atóm ako celok je neutrálny. Atóm má priemer rádovo  $10^{-10}$  m.

**Jadro atómu** - je centrálnou časťou atómu s rozmermi rádovo  $10^{-14}$  m, ktorá v sebe sústreďuje takmer celú hmotnosť celého atómu. Skladá sa z kladne nabitých protónov ( $Z$ ) a neutrálnych neutrónov ( $N$ ), ktoré sú spoločne označované pojmom nukleón ( $A = Z + N$ ). Tieto častice sú k sebe pripútané silnými prítiažlivými jadrovými silami.

**Elektrónový obal** - obsahuje elektróny v rôznych vrstvách (sférach). Počet elektrónov v poslednej (valenčnej) vrstve určuje chemické vlastnosti prvkov.

**Elektrón** - ( $e$ ) je častica v elektrónovom obale s hmotnosťou  $0,00062 m_u$  a nesie elektrický náboj -  $1,609 \cdot 10^{-19}$  C.

**Neutrón** - ( $n$ ) je častica atómového jadra bez elektrického náboja s hmotnosťou  $1,00897 m_u$  ( $1,6747 \cdot 10^{-27}$  kg).

**Protón** - ( $p$ ) je kladne nabitá častica atómového jadra, jej hmotnosť je  $1,00751 m_u$  ( $1,6729 \cdot 10^{-27}$  kg). Počet protónov v jadre sa rovná počtu elektrónov v elektrónovom obale, takže atóm je navonok neutrálny.

**Nukleóny** - častice ktoré sa nachádzajú v jadre tj.  $p$  i  $n$ .

**Atómové (protónové) číslo  $Z$**  - udáva počet protónov v jadre atómu.

**Hmotnostné číslo  $A$**  - udáva počet nukleónov (súčet protónov a neutrónov) v jadre a zároveň je najbližším celým číslom atómovej hmotnosti. Počet neutrónov v atómovom jadre je  $A - Z$ .

**Nuklid** - súbor rovnakých atómov, ktoré majú jednoznačne určený rovnaký počet protónov a neutrónov. Nuklidy toho istého prvku, ktorých atómy majú rovnaký počet protónov, ale rôzny počet neutrónov sa nazývajú izotopy.

**Izotopy** - atómy toho istého prvku, ktoré majú rovnaké atómové čísla  $Z$ , ale rôzne hmotnostné  $A$ . Napr. vodík  ${}_1\text{H}^1$  - ľahký vodík (protium),  ${}_1\text{H}^2$  - ťažký vodík (deutérium, D),  ${}_1\text{H}^3$  - (trítium, T); urán  ${}_{92}\text{U}^{238}$ ,  ${}_{92}\text{U}^{235}$ ,  ${}_{92}\text{U}^{234}$ .

**Rádioaktivita** - je vlastnosť niektorých atómov samovoľne sa rozpadat' (premieňať) na atómy jednoduchšie, pri súčasnom vysielaní elektromagnetického žiarenia či častíc.

**Ionizujúce žiarenie** - tento pojem zahrňuje žiarenie vysielané rádioaktívnymi látkami, röntgenové žiarenie (lúče X), žiarenie vzniknuté v urýchľovačoch častíc, či neutrónové žiarenie.



Ionizujúce sa nazýva preto, že pri prechodu hmotou ionizuje okolité atómy, a to buď priamo, ak je žiarenie tvorené elektricky nabitými časticami a nepriamo, ak je častica neutrálna. Zdroje ionizujúceho žiarenia sú buď prirodzené, alebo umelé.

**Rádionuklid** - je nestabilný nuklid podliehajúci samovoľnej rádioaktívnej premene.

**Rádioizotop** - je nestabilný izotop prvku podliehajúci samovoľnej rádioaktívnej premene.

**Rádioaktívny žiarič** - je látka (pevná, kvapalná či plynná), ktorá je rádioaktívna, teda takmer všetky látky. Rádioaktívne žiariče sú charakterizované ich aktivitou. Delíme ich na otvorené a uzavreté, podľa vyžarovania do svojho okolia.

**Aktivita rádioaktívnej látky** - je veličina určená počtom rádioaktívnych premien prebiehajúcich v látke za jednotku času. Ak nastane v látke 1 premena za 1 sekundu, má aktivitu 1 Becquerel (Bq). Vzhľadom k tomu, že táto jednotka je veľmi malá, v praxi sa môžeme stretnúť skôr s jednotkami (kBq, MBq, GBq, atd).

**Značenie atómov** - napr.  ${}_{92}\text{U}^{238}$ ,  ${}_Z\text{U}^A$ .

**Atómová jednotka hmotnosti (a.h.j.)  $m_u$**  - sa rovná 1/16 hmotnosti hlavného izotopu uhlíka  $\text{C}^{16}$  ( $m_u = 1,66044 \cdot 10^{-27}$  kg).“ [5]

## Príloha č. 2. - Základné pojmy u jadrových reaktorov

“V zásade je možné u jadrových reaktorov rozlíšiť tieto základné pojmy:

**Palivový článok:** základný prvok aktívnej zóny, obsahuje štiepny materiál (príp. zmes štiepneho a množivého materiálu). Články sú väčšinou usporiadané v tyčiach, resp. vo zväzkoch tyčí, hermeticky pokryté obalom zo špeciálneho materiálu. V palivových článkoch sa generuje prevažná časť energie z jadrového štiepenia. Obal chráni jadrové palivo pred koróznym pôsobením okolia, bráni úniku vysoko rádioaktívnych látok a často plní aj funkciu nosnej časti palivového článku.

**Moderátor:** látka, tvoriaca súčasť aktívnej zóny tepelných reaktorov. Znižuje kinetickú energiu neutrónov až na dolnú hranicu, kedy je pravdepodobnosť štiepenia najvyššia.

**Aktívna zóna:** časť reaktora, v ktorej sa nachádzajú palivové kazety.

**Systém odvodu tepla:** zabezpečuje odvod tepla z aktívnej zóny tak, aby nedošlo k poškodeniu jadrového reaktora.

**Reflektor:** obklopuje aktívnu zónu (vracia neutróny späť do reakcie) a prispieva k vyrovnaní priestorového rozloženia vývinu tepla v aktívnej zóne. Charakteristická veličina určujúca odrážavosť danej látky pre neutróny je tzv. ALBEDO - vyjadruje pomer počtu neutrónov navrátených z reflektora do aktívnej zóny, k počtu neutrónov, ktoré cez tú istú plochu opustili aktívnu zónu. (Hodnoty albeda:  $D_2O = 0,968$ , Grafit = 0,930, Berýlium = 0,889,  $H_2O = 0,821$ ).

**Reprodukčná zóna:** je to vrstva množivého materiálu, ktorá obklopuje aktívnu zónu rýchleho (množivého) reaktora (FBR), v ktorej dôjde k produkcii nového štiepneho materiálu.

**Reaktorová nádoba:** tlaková nádoba, v ktorej je umiestnená aktívna zóna s príslušenstvom.

**Tienenie jadrového reaktora:** znižuje prienik rádioaktívneho žiarenia z aktívnej zóny do reaktora na prijateľnú úroveň.

**Systém riadenia reaktora:** umožňuje prevádzku reaktora pri konštantnom výkone, zmenu prevádzkových režimov, nábeh a odstavenie reaktora, rýchle odstavenie reaktora v havarijných situáciách. Obsahuje riadiace tyče: (kompenzačné - spúšťanie a odstavenie reaktora, regulačné - regulujú výkon, havarijné - okamžité odstavenie reaktora).

**Systém výmeny paliva:** umožňuje diaľkovú výmenu paliva premiestňovanie čiastočne vyhorených palivových článkov pri odstavenom jadrovom reaktore (kampaňová výmena) alebo za prevádzky (kontinuálna výmena).

**Ochranná obálka (kontejment):** hermeticky uzatvára reaktor a ostatné časti primárneho okruhu, takže pri prípadnej veľkej havárii sa podstatne zníži únik štiepných produktov a rádioaktívnych častíc do okolia.“ [3]

### Príloha č. 3. - Medzinárodné označovanie typov jadrových energetických reaktorov

Tab. 3: Medzinárodné označovanie typov jadrových energetických reaktorov [3]

Označenie	Význam	Moderátor	Chladiivo
GCR	Gas-Cooled, graphite-moderated Reactor	C	CO <sub>2</sub>
AGR	Advanced Gas-cooled, graphite-moderated Reactor	C	CO <sub>2</sub>
HTGR	High-Temperature Gas-cooled, graphite- moderated Reactor	C	He
LWGR	Light-Water-cooled, Graphite- moderated Reactor	C	H <sub>2</sub> O
BWGR	Boiling light-Water-cooled, Graphite- moderated Reactor	C	H <sub>2</sub> O
MSGR	Molten-Salt-cooled, Graphite- moderated Reactor	C	Roztavené soli
MSBR	Molten-Salt-cooled, graphite- moderated Breeder Reactor	C	Roztavené soli
HWR	Heavy-Water-moderated Reactor	D <sub>2</sub> O	Rôzne
PHWR	Pressurised Heavy-Water-moderated and cooled Reactor	D <sub>2</sub> O	D <sub>2</sub> O
BHWR	Boiling Heavy-Water-moderated and cooled Reactor	D <sub>2</sub> O	D <sub>2</sub> O
HWGCR	Heavy-Water-moderated, Gas-Cooled Reactor	D <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>
LWR	Light-Water-moderated and cooled Reactor	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O
PWR	Pressurised light-Water-moderated and cooled Reactor	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O
BWR	Boiling light-Water-moderated and cooled Reactor	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O
FBR	Fast Breeder Reactor	–	Rôzne
LMFBR	Liquid-Metal-cooled Fast Breeder Reactor	–	Na
GFBR	Gas-cooled Fast Breeder Reactor	–	He
SFBR	Steam-cooled Fast Breeder Reactor	–	H <sub>2</sub> O
OMR	Organic-Moderated and cooled Reactor	Organiká	Organiká